

1.771
ш 90

T23

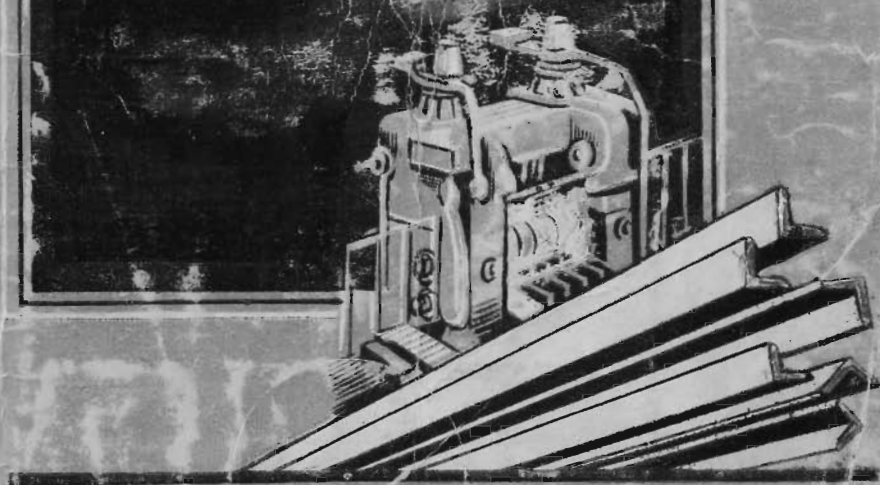


БМЕН

ПЕРЕДОВЫМ ОПЫТОМ

М. М. Штернов

КАЛИБРОВКА УГЛОВОЙ СТАЛИ



Металлургиздат 1951

М. М. ШТЕРНОВ

621.771
ш 90

29

КАЛИБРОВКА УГЛОВОЙ СТАЛИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
СВЕРДЛОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Свердловск 1961

АННОТАЦИЯ

В книге излагается метод калибровки валков для прокатки угловой стали, проверенный в производственных условиях. Приводятся примеры расчетов.

Книга предназначена для калибровщиков, инженерно-технических работников металлургических заводов и может быть использована студентами технических вузов.

Автор *Штернов Михаил Михайлович*

Редактор *Скрябин Н. П.*

Редактор издательства *Скоробогачева А. П.*

Технический редактор *Туркина Е. Д.*

Сдано в набор 4/X 1960 г.

Подписано к печати 16/I 1961 г.

Бумага 60×90^{1/16}

Бум. л. 1,75=3,5 печ. л.

Уч. изд. л. 3,5

НС 23012

Тираж 4250

Цена 18 к.

Заказ 128

Свердловская типография Металлургиздата, г. Свердловск,
Дом промышленности

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящей работе обобщены материалы освоения на Магнитогорском металлургическом комбинате новых ГОСТов на угловую сталь, введенных в 1960 г. Новые ГОСТы значительно увеличивают общее количество профилируемых и предусматривают введение более тонких полок почти для всех номеров угловой стали («тонкостенные уголки»).

В процессе предварительного освоения новых профилей было установлено, что расчет размеров калибров по методам, опубликованным в имеющейся литературе, не всегда приводит к положительным результатам, и спроектированные калибровки часто нуждаются в корректировке. Опытами, проводившимися в производственных условиях и на экспериментальном стане, установлены особенности проектирования уголкового калибров.

В результате проведенных исследований был разработан новый метод калибровки, основанный на аналитическом определении длины средней линии полки в каждом из калибров.

Метод имеет следующие характерные особенности:

1. Более энергичное, по сравнению с другими методами, сгибание полки профиля в процессе их формирования.
2. Более точное определение свободного и стесненного уширения и распределения уширения между полками.
3. Аналитический расчет всех размеров калибров и положения нейтральной линии.
4. Новый подход к выбору исходной заготовки.

Метод проверен многочисленными опытными прокатками в условиях мелко, средне- и крупносортового станов. При этом новая система расчетов обеспечивала получение профиля без дефектов и с правильными размерами при первой же прокатке.

Помимо изложения основ проектирования уголкового калибров и их размещения на валках, в книге указываются также способы устранения дефектов угловой стали и приводятся примеры расчета следующих калибровок: а) со стесненным уширением; б) со свободным уширением; в) с задачей профиля в диагональном положении. Все примеры расчета выполнены применительно к новым ГОСТам.

1. МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ УГЛОВОЙ СТАЛИ

Схемы калибровки угловой стали представлены на рис. 1. Калибровки, основанные на сгибании прямых полок (рис. 1, а), считаются устаревшими и в настоящее время почти не применяются. Этот метод по сравнению с другими требует более глубоких врезов в валки, что ослабляет их прочность и увеличивает трение в калибре. Кроме того, необходимость чередования раз-

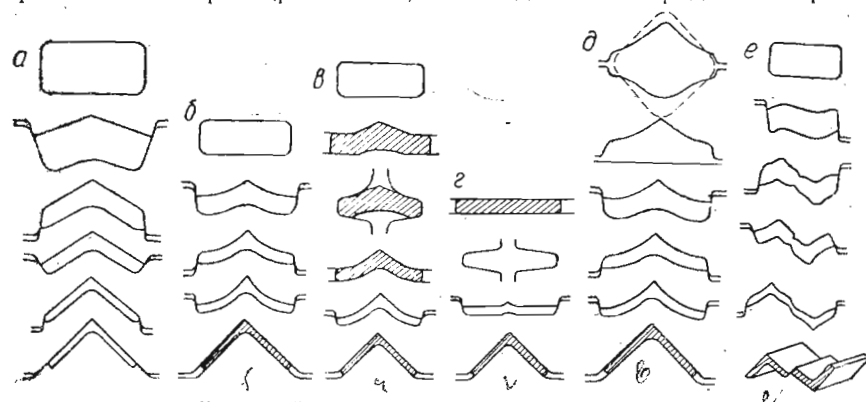


Рис. 1. Схемы калибровки угловой стали:

а — с прямыми полками в закрытых калибрах; б — с развернутыми полками в закрытых калибрах; в — с применением открытых калибров; г — сгибанием в чистовом калибре; д — «диагональный метод»; е — разрезанием зетообразного профиля в чистовом калибре.

делов калибров вызывает искажение торцов профиля, отражающееся на внешнем виде готового проката.

При прокатке угловой стали в закрытых калибрах с развернутыми полками (рис. 1, б) недостатки предыдущего метода ослабляются или устраняются совсем. Увеличение допустимых коэффициентов деформации (вследствие более мелких врезов в валки) создает возможность для сокращения числа пропусков и улучшения всех показателей работы стана. Незначительный уклон боковых стенок и наличие закруглений позволяют более точно назначать степень стеснения в калибре, а следовательно, и уширение.

Прокатка угловой стали в открытых калибрах со свободным уширением (рис. 1, в) по сравнению с другими методами имеет следующие преимущества:

1. Сокращение числа перевалок за счет использования одних и тех же калибров для нескольких уголков смежных размеров.

2. Сокращение парка валков и удешевление вальцетокарных работ.

3. Отсутствие возможности образования заусенцев и закатов.

К недостаткам калибровок со свободным уширением можно отнести следующее:

1. Отсутствие буртов затрудняет установку арматуры в правильном положении и может привести к неправильному заполнению или положению угла профиля.

2. Настройка стана при использовании калибров со свободным уширением протекает с несколько большими трудностями.

3. В условиях свободного уширения ширина полок подвержена значительным изменениям, связанным с возможными изменениями величины уширения в процессе прокатки.

Калибровки со свободным уширением особенно удобны для применения на непрерывных и полунепрерывных станах, оборудованных вертикальными клетями. В этом случае наличие ребровых пропусков обеспечивает хороший контроль за шириной полок на всем протяжении прокатки.

Дальнейшим развитием методов прокатки угловой стали в направлении более полного использования преимуществ развертывания полок являются калибровки по методу сгибания (рис. 1, г), обеспечивающие минимальный общий расход энергии на прокатку. Пока эта система не применяется вследствие затруднений при задаче полосы в последний калибр. Возможно, что в будущем эти калибровки получат распространение, если сгибание осуществлять последовательно в двух-трех калибрах или при помощи специальной арматуры.

В некоторых случаях калибровки для получения угловой стали предусматривают задачу в первый профильный калибр заготовки в диагональном положении (рис. 1, д). Такой метод прокатки позволяет использовать для получения нужного профиля заготовку меньшего размера. Одновременно при этом сокращается возможность образования дефектов из-за вкатанной окалины. Диагональный метод применяют также в тех случаях, когда необходимо получить кромки профиля из углов слитка, что иногда обеспечивает более высокое их качество.

К недостаткам диагонального метода следует отнести:

1. Увеличение общего коэффициента деформации в фасонных калибрах.

2. Более глубокий врез в валки первых профильных калибров.

3. Увеличение обрезки от переднего и заднего концов полосы.

4. Неудобства, связанные с задачей заготовки на угол. Задаваемая полоса при этом находится в неустойчивом положе-

нии и на ее поддержание иногда требуется затрата ручного труда.

Интересный метод получения угловой стали предложен В. Вашичек [6]. Согласно этому методу, угловая сталь получается в результате разрезания в чистовом калибре профиля, подобного зетовому (рис. 1, е), что позволяет почти удвоить производительность стана. Недостатком этого метода является возможность образования заусенцев при продольной разрезке прокатанной полосы.

Метод прокатки угловой стали следует выбирать в связи с типом прокатного стана, для которого проектируется калибровка.

2. ЧИСТОВОЙ КАЛИБР

В чистовом калибре, помимо обжатия, происходит также выправление полок (рис. 2).

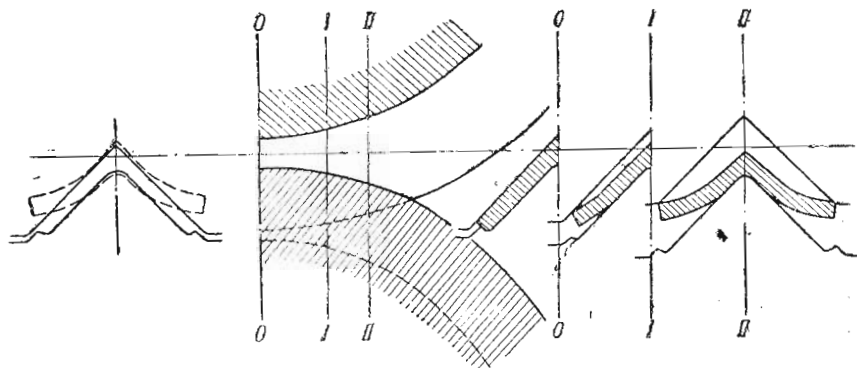


Рис. 2. Последовательность деформации в чистовом угольном калибре.

При прокатке неравнобоких уголков применяют два способа расположения чистового калибра (рис. 3). По первому способу биссектриса прямого угла располагается вертикально, а по второму — наклонно, причем в этом случае проекции обеих полок на вертикальную ось равны между собой.

Расположение калибра по первому способу связано с возникновением осевых усилий ($P_1 > P_2$, а $P_3 > P_4$) и более глубоким врезом в валки, вследствие чего применяется довольно редко. При втором способе расположения калибров этих недостатков не наблюдается и потому он может быть принят в качестве основного для всех последующих выкладок.

При проектировании чистового калибра необходимо также учитывать следующее:

1. Ширина калибра, во избежание «закусывания» входящих полок, по возможности, должна быть равной или лишь немногим

меньше ширины задаваемой полосы. Калибры, имеющие минимально возможную ширину (а следовательно, и глубину) следует применять при недостаточной прочности валков.

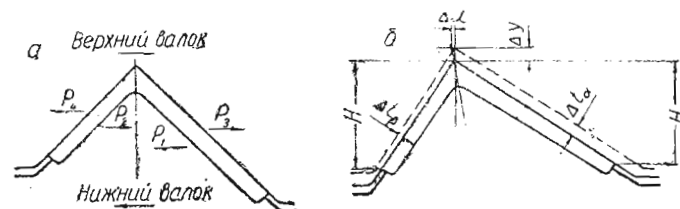


Рис. 3. Два способа расположения чистового калибра в валках при прокатке неравнобоких уголков:

а — биссектриса угла вертикальна; б — проекции полок на вертикальную ось равны.

2. В чистовом калибре для неравнобокого уголка сведение или разведение валков изменяет толщину каждой из полок по-разному. Из рис. 3, б видно, что $\Delta t_a > \Delta t_b$ и для выравни-

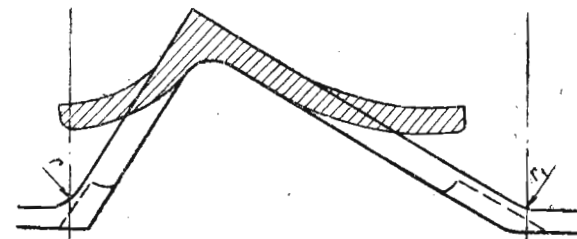


Рис. 4. Чистовой калибр для прокатки угловой стали и задаваемый в него профиль.

вания толщин полок следует либо верхний валок сместить влево, либо нижний валок сместить вправо. Возможность такого пере-

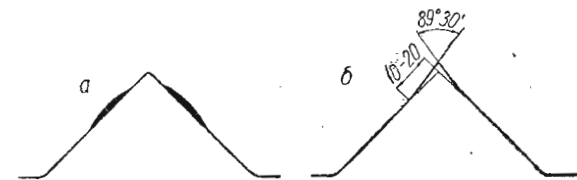


Рис. 5. Корректирование формы чистового калибра для увеличения его стойкости:

а — вид износа; б — изменение формы шаблона.

мещения валков предусматривается заранее путем назначения соответствующих зазоров в боковых замках.

3. Бурты валков должны иметь радиусы закруглений (рис. 4).

4. Калибры следует применять со свободным уширением, что позволяет избежать образования заусенцев и делает возможной

прокатку в одном и том же калибре двух-трех смежных номеров угловой стали. Применение закрытых калибров, ограничивающих уширение (пунктир на рис. 4), не рекомендуется.

5. Для компенсации неравномерной выработки чистового калибра целесообразно дать небольшое заострение углу калибра (рис. 5), что способствует повышению стойкости валков и дает возможность избежать образования выпуклостей на гранях полков готового профиля.

3. СИСТЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ПОЛОК

Наиболее распространенные геометрические построения, применяемые при развертывании прямолинейных полков в криволинейные, показаны на рис. 6. В основу первого из них (рис. 6, а)

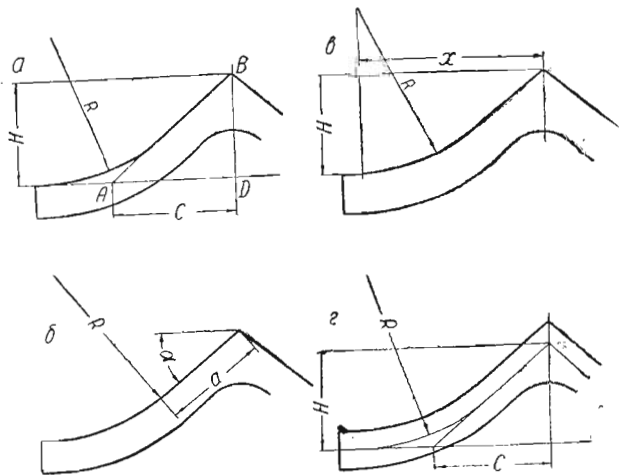


Рис. 6. Методы расстановки определяющих размеров при развертывании полков уголкового калибра.

положено изменение соотношений H и C в треугольнике ABD . Угол раскрытия полков является при этом производной величиной от размера H (калибровки С. Ф. Осикина, И. И. Кучко и др.). При расстановке размеров по второму методу (рис. 6, б) изменение высоты калибра регламентируется системой изменения угла α и длины прямолинейного участка a (методы Н. Меца, А. П. Чекмарева, Д. И. Старченко и Б. В. Мерекина). Использование системы определяющих размеров по третьему методу, показанному на рис. 6, в (методы Б. П. Бахтинова, И. М. Кочетова), позволяет изменять угол раскрытия полков изменением высоты H при постоянной абсциссе (x) центра окружности радиуса R .

Метод расстановки размеров, принятый за основу для дальнейших выкладок (рис. 6, г), в основном сходен с методом,

показанным на рис. 6, а, и отличается от него лишь тем, что размеры отнесены не к верхней грани профиля, а к средней линии полков.

Изыскание оптимальной системы расстановки определяющих размеров уголкового калибра не относится к принципиальным вопросам калибровки. Хорошие результаты при прокатке, как показали специальные исследования на ММК, могут быть получены при различных методах развертывания полков, если только правильно рассчитана их длина и соблюдены основные правила калибровки.

Одним из важных преимуществ принятой системы развертывания полков является возможность упрощения системы

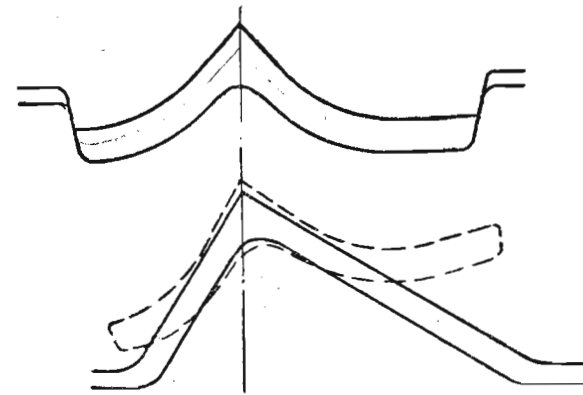


Рис. 7. Предчистовой калибр при развертывании полков неравнобокого уголка под равными углами. Положение профиля при задаче в чистовой калибр.

уравнений для аналитического нахождения всех размеров калибров. Большое значение имеет правильный выбор высоты калибра.

Наблюдения за прокаткой угловой стали позволяют установить, что с увеличением общей высоты калибра и той части полков, которая образована прямыми линиями (размер a на рис. 6, б), увеличивается устойчивость профиля и уменьшается возможность смещения угла при задаче в следующий (особенно чистовой) калибр. Одновременно уменьшается вероятность значительного превышения ширины задаваемого профиля над шириной калибра, в который он поступает. Вместе с тем, следует помнить, что с увеличением глубины калибра увеличивается работа сил трения и ослабляется прочность валков. Выбор величины радиуса скругления полков производится исходя из получения оптимальной длины горизонтальных участков развернутых полков профиля.

Наиболее распространенным методом разворачивания полок неравнобоких уголков является метод, когда длинная полка имеет меньший угол наклона и больший радиус скругления, чем короткая. Разворачивание полок под равными углами (рис. 7), иногда применяемое на некоторых заводах, усложняет правильную задачу и удержание профиля в чистовом калибре и потому не рекомендуется.

4. ОБЩИЙ И ЧАСТНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЕФОРМАЦИИ

Общий коэффициент деформации в профильных калибрах должен выбираться из условий выполнения угла при вершине профиля. Опыт прокатки показывает, что для получения доста-

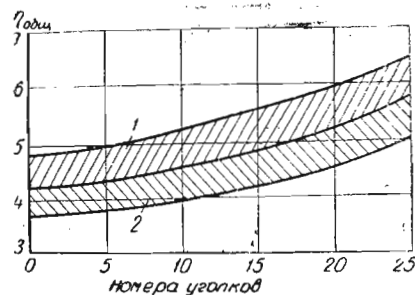


Рис. 8. Зависимость необходимого общего коэффициента деформации (в угольковых калибрах) от номера профиля:

1 — прокатка из спокойной стали; 2 — прокатка из кипящей стали.

точно острого угла при вершине толщина заготовки, задаваемой в первый профильный калибр, должна превышать максимальную толщину прокатываемого профиля не менее чем в 4,0—6,0 раз (рис. 8). На это соотношение влияют марка прокатываемой стали, отношение диаметра валков к размерам профиля, степень стеснения в калибрах и другие факторы.

Некоторое уменьшение толщины задаваемой полосы (по сравнению с получающейся из графика рис. 8) допустимо в тех случаях, когда она имеет или специальное утолщение посередине, или форму, приближающуюся к овалу или ромбу. С увеличением толщины заготовки, больше пределов, указанных на графике рис. 8, выполнение угла улучшается. Поэтому на практике, если только этому не мешают какие-либо специфические условия, толщину заготовки чаще всего берут в 6—8 раз больше максимальной толщины прокатываемого профиля. Еще большее увеличение коэффициента деформации нежелательно из-за получающегося в этом случае увеличения числа профильных калибров.

Принятый общий коэффициент деформации распределяется по пропускам, согласно общим правилам калибровки.

На среднесортных станах частные коэффициенты деформации в черновых калибрах обычно не превышают 1,6—1,8 для крупных и 1,8—2,2 для мелких и средних уголков. В чистовом калибре, в целях увеличения его стойкости и получения хорошей поверхности готового профиля, применяются возможно меньшие обжатия. Нижний предел коэффициентов деформации в этом

случае ограничивается лишь устойчивостью прокатки и составляет примерно 1,07—1,12 для крупных и 1,1—1,20 для средних и мелких уголков.

5. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ РАЗВЕРНУТЫХ УГОЛКОВЫХ КАЛИБРОВ

Вопросы расчета размеров калибров для прокатки угловой стали рассматривались в работах Н. Меца, А. П. Виноградова, А. П. Чекмарева, А. Ф. Головина, В. С. Смирнова и др. Особенно подробно методы расчета калибровок угловой стали разработаны Б. П. Бахтиновым [3] и Д. И. Старченко [2], каждый из которых дал законченную систему формул для определения любого промежуточного калибра. Однако использование этих методов расчета на практике иногда приводит к затягиванию освоения профиля в связи с необходимостью корректировок размеров калибров.

К недостаткам метода Д. И. Старченко следует отнести: 1) отсутствие увязки толщины полок с их шириной, приведшее к ошибкам во всех примерах расчетов; 2) неудачная схема разворачивания неравнобоких уголков (рис. 7).

К недостаткам относится также регламентация углов раскрытия полок, не связанная с общим числом пропусков и применяемых коэффициентов деформации.

Метод Б. П. Бахтинова, получивший более широкое распространение, также приводит иногда к неправильной калибровке по следующим причинам:

1. Не учитывается изменение ширины калибров (наиболее важный размер) за счет изгиба профиля.

2. При выборе высоты заготовки также не принимается во внимание возможность изменения угла раскрытия за счет изгиба полок. Учитывая только деформацию штампования, автор завышает высоту заготовки и тем самым необходимое количество фасонных калибров.

3. Введено ошибочное понятие «смещение вершины», используемое при распределении уширения между широкой и узкой полками.

Ниже излагается система расчета размеров переходных сечений при калибровке угловой стали, основанная на аналитическом определении проекции длины средней линии полок в каждом калибре.

Расчет калибровки ведется против хода прокатки.

Чтобы предупредить неувязки, которые могут возникнуть при переходе от черновых калибров с развернутыми полками к чистовому с прямолинейными полками, целесообразно, подобно тому, как это делается при расчете по методу Б. П. Бахтинова, чистовой калибр также условно представить в развернутом виде. В этом случае закономерности в изменении тех или

иных величин и порядок расчета будут справедливы для всех калибров без исключения.

Условный чистовой калибр с развернутыми полками, с которого начинается расчет серии подобных уголкового калибров, показан на рис. 9.

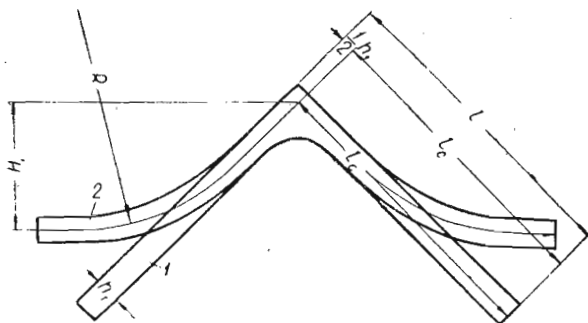


Рис. 9. Схема образования условного чистового калибра:
1 — действительный чистовой калибр; 2 — условный чистовой калибр.

К основным размерам, определяющим характер развертывания уголкового калибра, в соответствии с принятой схемой (рис. 6, з), относятся H_1 , C и R . Кроме того, для построения

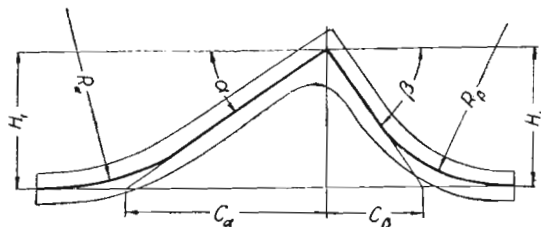


Рис. 10. Пояснительная схема к выбору и расчету основных размеров, относящихся к средней линии условного чистового калибра.

калибров должны быть найдены еще несколько размеров (производных от основных), показанных на рис. 10. Учитывая замечания, изложенные в параграфе 3, по поводу глубины калибра и радиусов скругления полков, а также имеющиеся практические калибровки и рекомендации в трудах Н. Меца, А. П. Чекмарева, Б. П. Бахтинова, Д. И. Старченко, Е. Бейнона, Б. В. Меркина и др., для выбора H_1 и R можно принять следующие соотношения:

а) для равнобоких уголков

$$H_1 = (0,4 - 0,45) l; \quad (1)$$

$$R = (0,8 - 0,95) l = \text{const}; \quad (2)$$

б) для неравнобоких уголков

$$H_1 = (0,4 - 0,45) \frac{l_a + l_\beta}{2}; \quad (3)$$

$$R_a = (1,0 - 1,1) l_a = \text{const}; \quad (4)$$

$$R_\beta = (0,7 - 0,8) l_\beta = \text{const}. \quad (5)$$

Принимаемые по этим соотношениям размеры можно округлять до целых миллиметров (мелкие уголки), четных величин (средние уголки) или кратных пяти (крупные уголки).

Остальные размеры находят из следующих очевидных соотношений:

а) для равнобоких уголков

$$\alpha_1 = \beta_1 = 45^\circ; \quad (6)$$

$$C = H_1 = \text{const}; \quad (7)$$

$$l_c = l - \frac{1}{2} h_1; \quad (8)$$

б) для неравнобоких уголков

$$\tan \alpha_1 = \frac{l_\beta}{l_a}; \quad (9)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{l_a}{l_\beta}; \quad (10)$$

$$C_a = \frac{H_1}{\tan \alpha_1} = \text{const}; \quad (11)$$

$$C_\beta = \frac{H_1}{\tan \beta_1} = \text{const}; \quad (12)$$

$$l_{c_a} = l_a - \frac{1}{2} h_1; \quad (13)$$

$$l_{c_\beta} = l_\beta - \frac{1}{2} h_1. \quad (14)$$

При определении длины средней линии полков по уравнениям (8), (13) и (14) под l , l_a и l_β понимаются «горячие размеры» полков готового профиля.

Ширина условного чистового калибра интереса не представляет.

Форма последующих калибров, так же как и форма условного чистового калибра, определяется размерами H , C , R , l_0 и производным размером B (проекция полки на горизонтальную ось). При этом размеры C и R могут быть приняты для всех калибров неизменными, равными размерам, рассчитанным для условного чистового калибра.

Последовательное изменение угла раскрытия полок (углов α и β) удобнее всего регулировать изменением высоты калибра, т. е. размером H (рис. 11). При этом, согласно рекомендации

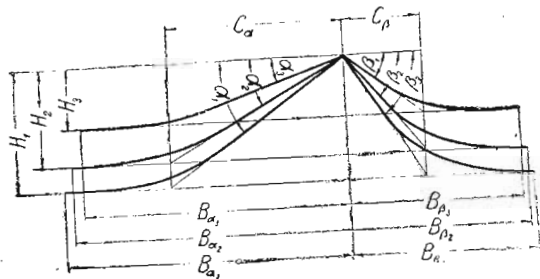


Рис. 11. Последовательность изменения формы средней линии полок путем изменения высоты H в серии угловых калибров.

А. П. Чекмарева, наиболее правильным методом распределения деформации изгиба по калибрам является соблюдение принципа пропорциональности между абсолютными обжатиями и приращением углов закрытия. Иными словами, чем больше обжатие в калибре, тем больше и допустимый изгиб в нем.

Уменьшение величины H от калибра к калибру ($H-H'$) должно составлять такую же часть от общего изменения этой величины (т. е. от принятой высоты первого калибра — H_1), какую обжатие в данном калибре составляет от суммарного обжатия,

$$\frac{H - H'}{H_1} = \frac{\Delta h}{\Sigma \Delta h} = \frac{\Delta h}{h_{\text{заг}} - h_1}$$

(размеры со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибру). Из этой пропорции после простейших преобразований получаем

$$H' = H - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_1} \Delta h, \quad (15)$$

где H_1 — высота условного чистового калибра;

h_1 — толщина готового профиля;

$h_{\text{заг}}$ — толщина заготовки, задаваемой в первый профильный калибр.

На рис. 12 представлены калибры, наложенные друг на друга при построении их по предлагаемому методу. Горизонтальные участки средних линий всех калибров условно показаны совмещенными в одну линию. Фактическое положение задаваемой полосы по отношению к калибру, в который она поступает, установить трудно. Оно зависит от многих факторов, главным из которых является равенство давлений на верхний и нижний валки. Необходимо также заметить, что увеличение ширины проекций полок по ходу прокатки, показанное на рис. 11 и 12,

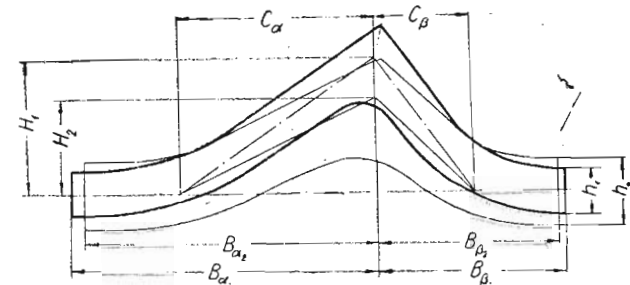


Рис. 12. Наложение шаблонов смежных калибров, поясняющее характер деформации при поступлении полосы в следующий калибр.

получается не всегда. Вследствие изгиба ширина следующего калибра может оказаться равной или даже меньшей, чем у предыдущего. В последнем случае необходимо преследовать за возможностью проникновения профиля в следующий калибр, регулируя величину выпуска и высоту буртов.

Наиболее важным при построении последующих калибров является определение их ширины, исходя из заданной длины средней линии полок.

Исследования Н. Меца [1], Д. И. Старченко [2] и опыты автора [10] показали, что при деформации в развернутых угловых калибрах изменение кривизны средней линии происходит частично за счет изгиба и частично за счет штампования, причем последнее заметно сказывается лишь в первых (одном-двух) профильных калибрах. В последующих калибрах средняя линия полок изменяет свою длину лишь вследствие уширения. Изменение угла раскрытия полок (изгиб), на длине их средней линии, как показали специальные опыты автора, практически не отражается, за исключением случая, показанного на рис. 1,2¹.

¹ Существует противоположная точка зрения. Опыты Б. В. Меркина [8] показывают, что изгиб элементов профиля в калибре вызывает увеличение средней линии профиля, соизмеримое по величине с уширением средней линии от обжатия раската в валках (п р и м. р е д.).

Определив длину средней линии полки в чистовом калибре и последовательно изменяя ее по ходу калибровки на величину стесненного уширения, можно заранее (до расчета остальных размеров калибров) установить длину средней линии во всех остальных калибрах, необходимую для правильного заполнения их.

Используем рис. 13, представляющий построение развернутой средней линии полки, справедливое для любого углового калибра, для нахождения по известным размерам (H , C , R , h и l_c) углов α и β и проекций полок B_α и B_β .

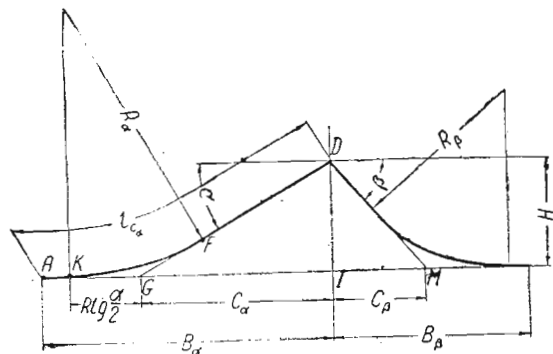


Рис. 13. Пояснительная схема к определению проекции средней линии полок.

Значения углов α и β находятся из треугольников DGI и DIM

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{C_\alpha}; \quad (16)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H}{C_\beta}. \quad (17)$$

Проекция левой полки находится как сумма отрезков C_α , $R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ и KA , где величина KA может быть найдена по известной длине средней линии AD , после вычета из нее дуги KF и отрезка FD .

$$AK = l_{c\alpha} - (KF + FD) = l_{c\alpha} - \left[R\alpha + \left(\frac{H}{\sin \alpha} - R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \right].$$

Таким образом

$$B_\alpha = C_\alpha + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + l_{c\alpha} - R\alpha - \frac{H}{\sin \alpha} + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

откуда, после простейших преобразований,

$$B_\alpha = l_{c\alpha} - C_\alpha \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right) + R_\alpha \left(2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745\alpha^\circ \right). \quad (18)$$

Проекция малой полки находится по аналогии

$$B_\beta = l_{c\beta} - C_\beta \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} - 1 \right) + R_\beta \left(2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - 0,01745\beta^\circ \right). \quad (19)$$

Для равнобоких уголков $\alpha = \beta$ и $B_\alpha = B_\beta$.

Радиусы для проведения средних линий полок, как уже указывалось, остаются неизменными для всех калибров. Радиусы верхней и нижней поверхностей полок изменяются в зависимости от их толщины и соответственно составляют $R - \frac{h}{2}$ и $R + \frac{h}{2}$. Линии, образующие прямые участки полок, проводятся парал-

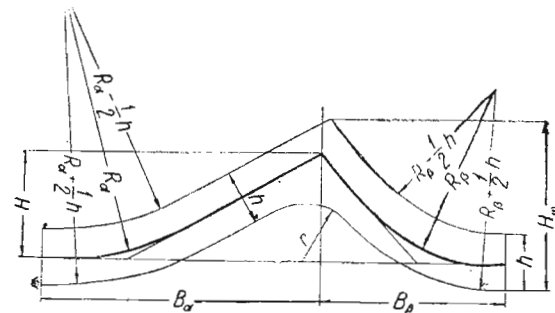


Рис. 14. Построение верхнего и нижнего контуров полок по известной средней линии.

лельно соответствующим прямым участкам средней линии (рис. 14).

Полная высота шаблона ($H_{ш}$) обычно интереса не представляет, поскольку при его изготовлении она получается автоматически, в процессе построения. Однако, если необходимо, эту высоту можно найти по уравнению

$$H_{ш} = H + \frac{h}{2} \left(1 + \frac{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \right). \quad (20)$$

Для равнобоких уголков выражение получается значительно проще

$$H_{ш} = H + \frac{h}{2} \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} + 1 \right). \quad (20a)$$

Расчеты по уравнениям (18) и (19) могут быть заменены графическим построением. При этом на чертеже, подобном

54957

рис. 11, выполненном в крупном масштабе, мелкими измерениями циркуля откладывается известная длина изогнутой средней линии каждой из полок, после чего замеряются проекции B_α и B_β . Раствор циркуля должен быть предварительно проверен путем тщательного замера суммы многократных отложений принятой величины отрезка.

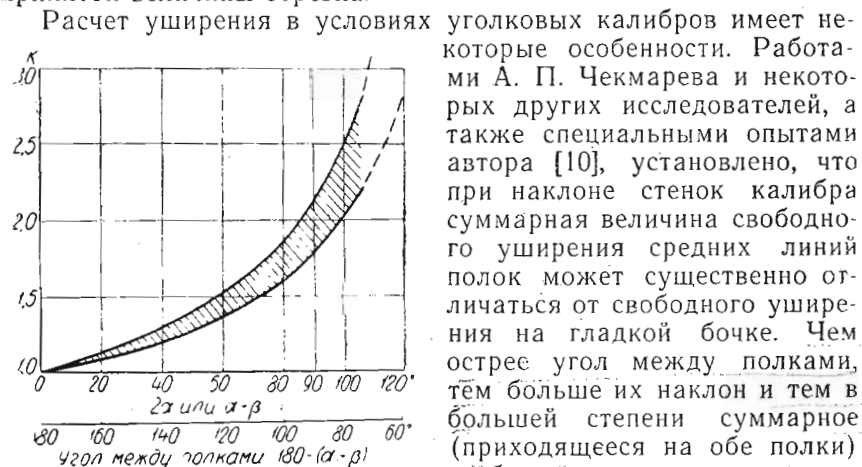


Рис. 15. Зависимость коэффициента, учитывающего увеличение уширения вследствие наклона стенок калибра (K), от величины угла между полками.

формации (при том же Δh) с увеличением наклона калибра. Благодаря этому для определения свободного суммарного уширения средних линий в уголконом калибре результаты, полученные при расчете уширения по обычным формулам¹, следует умножать на коэффициент, учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками (K)

$$\Delta b_{с.л} = K \Delta b. \quad (21)$$

Значения этого коэффициента можно брать из графика рис. 15.

При прокатке в закрытых калибрах расчет длины средней линии полки необходимо производить исходя из применения стесненного уширения ($\Delta b_{ст}$), что гарантирует правильность выполнения ширины полок промежуточных калибров. Можно рекомендовать для этого случая

$$\Delta b_{ст} = (0,5 - 0,65) \Delta b_{с.л}. \quad (22)$$

¹ В дальнейшем для расчета уширения применяется общеизвестная формула Б. П. Бахтинова

$$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$$

В открытом чистовом калибре длина полок изменяется на полную величину суммарного свободного уширения средних линий ($\Delta b_{ст} = \Delta b_{с.л}$).

Определенная по уравнению (22) величина стесненного уширения в случае калибровки неравнобокого уголка должна быть распределена на обе полки не поровну. Исходя из равенства вытяжек короткой и длинной полок, можно написать (размеры со штрихом относятся к искомому калибру, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета):

$$\frac{F'_\alpha}{F_\alpha} = \frac{F'_\beta}{F_\beta},$$

где F_α и F_β — соответственно площади длинной и короткой полок.

Выражая площадь каждой из полок как произведение длины средней линии на толщину, получаем:

$$\frac{(l_{с\alpha} - \Delta b_\alpha) h'}{l_{с\alpha} h} = \frac{(l_{с\beta} - \Delta b_\beta) h'}{l_{с\beta} h}, \quad \frac{F_\alpha}{F_\beta} = \frac{F'_\alpha}{F'_\beta}$$

откуда

$$\frac{\Delta b_\alpha}{\Delta b_\beta} = \frac{l_{с\alpha}}{l_{с\beta}}$$

или

$$\frac{\Delta b_\alpha}{\Delta b_\beta} \approx \frac{l_\alpha}{l_\beta} \quad (23)$$

т. е. уширение каждой из полок пропорционально ее длине. Этот вывод находится в соответствии с общеизвестным положением теории прокатки о равномерном распределении величины уширения по всей ширине полосы и подтверждает аналогичное эмпирическое правило И. М. Кочетова [4] и других калибровщиков.

Решая совместно уравнения

$$\Delta b_\alpha + \Delta b_\beta = \Delta b_{ст}$$

и

$$\frac{\Delta b_\alpha}{\Delta b_\beta} = \frac{l_\alpha}{l_\beta},$$

получаем, что для длинной полки уширение составит

$$\Delta b_\alpha = \frac{l_\alpha}{l_\alpha + l_\beta} \Delta b_{ст}. \quad (24)$$

а для короткой

$$\Delta b_{\beta} = \frac{l_{\beta}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \Delta b_{\text{ст.}} \quad (25)$$

При калибровке равнобоких уголков

$$\Delta b_{\alpha} = \Delta b_{\beta} = \frac{1}{2} \Delta b_{\text{ст.}} \quad (26)$$

Длина средней линии полки в искомом калибре находится по уравнениям:

$$l'_{c\alpha} = l_{c\alpha} - \Delta b_{\alpha}, \quad (27)$$

$$l'_{c\beta} = l_{c\beta} - \Delta b_{\beta}. \quad (28)$$

Для равнобоких уголков

$$l'_c = l_c - \frac{1}{2} \Delta b_{\text{ст.}} \quad (29)$$

Радиусы закруглений в местах стыка полок, в целях лучшего выполнения угла, следует увеличивать несколько больше, чем толщину полок

$$r' = r\eta + \Delta h \quad (30)$$

(размеры со штрихом относятся к искомому калибру, без штриха — к предыдущему по ходу расчета). Радиус закругления в чистовом калибре принимается согласно ГОСТу.

При прокатке в закрытых калибрах разъемы их чередуются. В предчистовом калибре разъем делается в верхней части (если чистовой калибр не имеет стеснения уширения).

Выпуск калибров (на рис. 23 — $\text{tg } \psi$) назначается в пределах 10—15%.

Радиусы закруглений на концах полок можно принимать в соответствии с рекомендацией Б. П. Бахтинова, а именно:

а) в калибрах, имеющих разъем сверху, радиус принимается больше радиуса предыдущего (по ходу расчета) калибра на величину обжатия, т. е.

$$r' = r + \Delta h; \quad (31)$$

б) в калибрах, имеющих разъем снизу, радиус следует принимать равным или немного больше величины обжатия в предыдущем калибре, т. е.

$$r' \geq \Delta h. \quad (32)$$

Площадь уголкового калибра определяется по формуле

$$F \approx 1,02h(l_{c\alpha} + l_{c\beta}), \quad (33)$$

где 1,02 — коэффициент, учитывающий площадь криволинейного треугольника, образованного радиусом r на стыке полок.

Расчет и проектирование калибровок со свободным уширением производится в основном по тем же правилам, что и со стесненным. Наиболее важным в этом случае является правильный выбор общей схемы прокатки и увязка ее с числом и расположением рабочих клетей на стане. Под общей схемой прокатки здесь понимается размещение в калибровке открытых, закрытых и ребровых калибров.

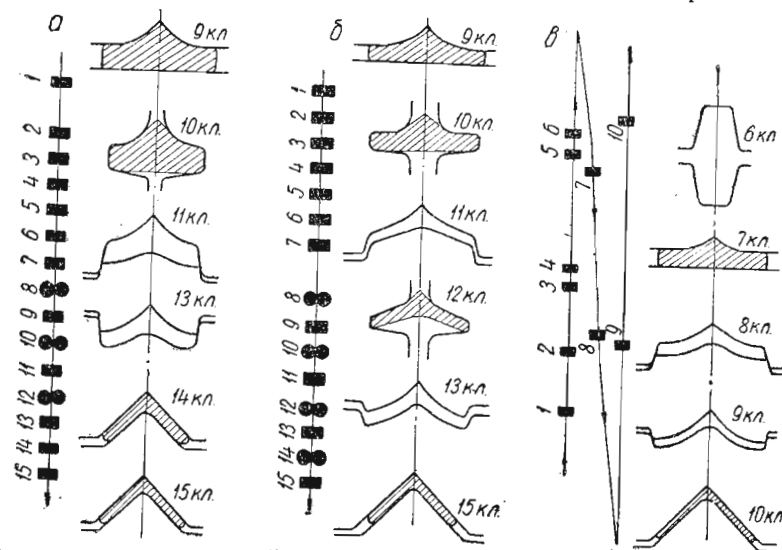


Рис. 16. Примеры действующих калибровок, включающих калибры со свободным уширением:

а — калибровка уголка $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ на стане 230 [4]; б — калибровка уголка $40 \times 40 \times 4$ на стане 250 (Криворожский металлургический завод); в — калибровка уголка $45 \times 45 \times 3,0-3,5$ на стане 300 (ММК).

Примеры использования калибров со свободным уширением для получения угловой стали приведены на рис. 16.

Чтобы предупредить изменение размеров полосы, поступающей в чистовой калибр, а следовательно, и изменение ширины полок в готовом профиле, предчистовой, а иногда даже два или три калибра, предшествующие чистовому, делают закрытыми. Чем больше в калибровке закрытых калибров, тем легче происходит настройка на профиль, но тем в меньшей степени используются преимущества калибров со свободным уширением.

Применение длинной серии (больше двух-трех подряд) открытых калибров также нежелательно, поскольку вследствие изменения уширения затрудняется контроль ширины и симметричности профиля.

Большое значение для успешной работы калибровки со свободным уширением имеет правильный выбор положения ребровых калибров. Поэтому необходимо учитывать следующее:

а) последний ребровой калибр, в целях лучшего контроля ширины, должен быть возможно ближе или предшествовать закрытым калибрам, окончательно определяющим ширину профиля;

б) ребровые калибры должны не сгибать, а обжимать полки профиля, т. е. изменять их ширину.

Чтобы калибровка отвечала второму требованию, последний ребровой калибр должен находиться не очень близко от чистового калибра (обычно не ближе чем четвертый), располагаясь в клетях, прокатывающих еще достаточно толстую полосу. Чем больше ширина полок готового профиля и чем они тоньше, тем дальше от конца прокатки должен быть последний ребровой калибр. По этой причине калибровки со свободным уширением для прокатки крупных уголков применяются редко.

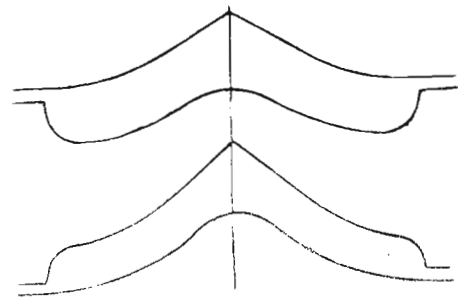


Рис. 17. Полузакрытые уголкового калибры с частичным стеснением уширения.

Форма последнего ребрового калибра также должна выбираться из расчета обжатия ширины, а не изгиба полок. Вместе с тем, не следует этот калибр превращать в калибр, подобный применяемым при прокатке полос, так как в этом случае необходимость интенсивного сгибания полосы в последующих калибрах будет затруднять настройку стана.

Для остальных ребровых калибров, если они имеются, перечисленных выше трудностей с выбором формы обычно не возникает.

Расчет калибровки можно вести по предложенным выше уравнениям. Некоторые отступления следует делать лишь при выборе высоты калибра (H), чтобы сгибание в чистовом и последних черновых пропусках проходило более интенсивно. Размеры ребрового калибра назначаются исходя из формы задаваемого профиля и соображений, изложенных выше.

В некоторых калибровках применяются калибры с частичным стеснением уширения (рис. 17), которые по характеру их работы являются как бы промежуточными между закрытыми и открытыми. Калибры с частичным стеснением уширения по сравнению с открытыми лучше фиксируют положение и симметричность полосы, а также позволяют точнее устанавливать

арматуру, но при этом не допускается использование одного калибра для нескольких профилей угловой стали.

Пример расчета схемы прокатки, включающей калибры со свободным уширением, приводится ниже.

Расчет калибров, предусматривающих задачу заготовки в диагональном положении («диагональный метод»), зависит от формы принятых калибров. При этом возможны два варианта получения профиля:

1. Прокатка в обычных калибрах с задачей в первый профильный калибр ромбической или сходной с ней по форме полосы. В этом случае расчет в основном ведется по рассмотренному выше методу с некоторой корректировкой одного-двух профильных калибров в целях увеличения устойчивости ромба (рис. 1, д). Ширина первых профильных калибров находится графически путем построения необходимой длины средней линии полки. Угол раскрытия полок первых двух профильных калибров и тупой угол задаваемого ромба, по возможности, принимаются примерно одинаковыми. Размеры ромбического калибра находятся конструктивно.

2. Прокатка с постоянной высотой H и постоянным углом раскрытия полок (90°) во всех калибрах. Конструкция калибров показана на рис. 18. Поскольку в этом случае во всех калибрах $\alpha = \beta = 45^\circ$ (для равнобоких уголков), уравнение для нахождения величины проекции полки в предчистовом калибре получает вид

$$B = l_c - 0,4142C + 0,0430R. \quad (34)$$

В последующих калибрах величина проекции каждой из полок определяется по уравнению

$$B' = B - \frac{1}{2} \Delta b_{ct} + (\Delta l'_c - \Delta l_c). \quad (35)$$

Здесь обозначения со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибру.

В уравнении (35) через Δl_c обозначена поправка, равная разнице между длинами отрезков AB , принимаемого в предыдущих выкладках за среднюю линию, и AB' — фактической средней линией полки, учитывающей радиус закругления на стыке полок (рис. 19). Для частного случая, когда $\alpha = 45^\circ$, поправка находится по уравнению

$$\Delta l_c = 0,107 \left(r + \frac{h}{2} \right). \quad (36)$$

Поправку на изменение величины Δl_c от калибра к калибру ($\Delta l'_c - \Delta l_c$) следовало бы включить также во все полученные выше уравнения для нахождения величин B_n и B_z , причем в

6. ПРОКАТКА РАЗНЫХ ТОЛЩИН ОДНОГО НОМЕРА УГЛОВОЙ СТАЛИ

Из уравнения (8)

$$l_c = l - \frac{h}{2},$$

а также по данным рис. 9 следует, что увеличению толщины прокатываемой полосы h должно сопутствовать сокращение длины средней линии полок l_c . Это, в свою очередь, как видно из уравнений (18) и (19), приводит к необходимости иметь для более толстых полос более узкие предчистовые и черновые калибры. Если в одном и том же калибре необходимо прокатывать уголки разной толщины, то он должен проектироваться на среднюю толщину полок. Например, для толщин 8 и 10 мм, если они будут прокатываться в общих калибрах, расчет следует вести исходя из толщины 9 мм.

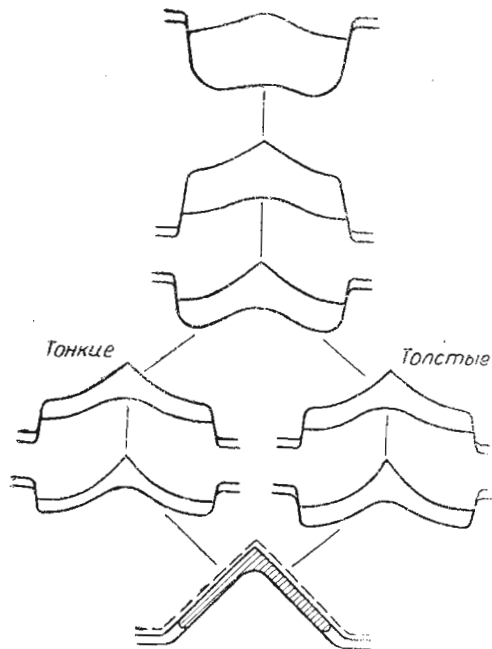


Рис. 21. Пример сочетания в одной калибровке общих и отдельных калибров для прокатки разных толщин одного номера угловой стали.

В этом случае при прокатке тонкого профиля полки должны получаться несколько меньше, а при прокатке толстого — несколько больше номинальных размеров. Попытки получения из одного и того же калибра профилей, резко отличающихся по толщине (например 8 и 14 мм), могут привести к получению второго сорта или брака по ширине полок.

Обычно при прокатке уголков, имеющих различные размеры по толщине, на каждые один-два (иногда три) размера толщин устраивают отдельные предчистовые, а иногда еще и черновые калибры (рис. 21). Первые черновые калибры могут быть общими. При прокатке со свободным уширением предчистовые (закрытые) калибры для уголков, резко отличающихся по толщине, также должны быть различными. Все остальные калибры

могут быть общими. Наилучшие условия для прокатки имеются в тех случаях, когда для уголков каждой толщины имеются отдельные калибры, но это связано с увеличением парка валков и простоев из-за перевалок.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ

Нейтральную линию в уголкового калибра рекомендуется проводить через центр тяжести площади, положение которого находится либо путем балансирования готового шаблона, либо аналитически.

При аналитическом решении нахождение положения центра тяжести полки можно заменить нахождением центра тяжести

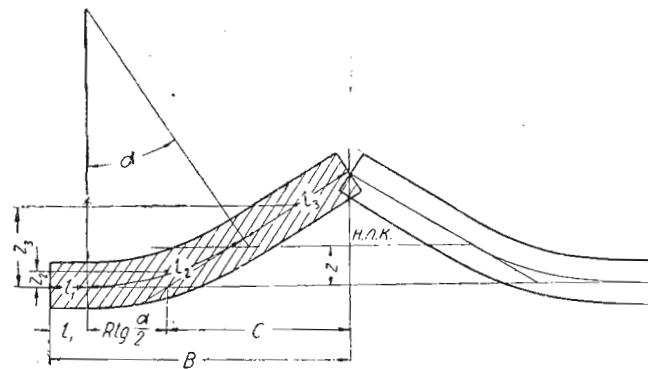


Рис. 22. Пояснительная схема к аналитическому определению положения центра тяжести уголкового калибра.

средней линии полки (рис. 22). При этом средняя линия длиной l_c разбивается на три участка l_1 , l_2 и l_3 , для каждого из которых определяется ордината центра тяжести (z_1 , z_2 , z_3). Ордината общего центра тяжести полки, соответствующая для равнобокого уголка положению нейтральной линии, находится по уравнению

$$z = \frac{l_1 z_1 + l_2 z_2 + l_3 z_3}{l_c} \quad (38)$$

Определение величин, входящих в это уравнение, дано на рис. 22

$$l_1 = B - \left(C + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right); \quad (39)$$

$$l_2 = R\alpha = 0,01745R\alpha^\circ; \quad (40)$$

$$l_3 = l_c - (l_1 + l_2) \quad (41)$$

или

$$l_3 = l_c + C + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (B + l_2); \quad (42)$$

$$z_1 = 0; \quad (43)$$

$$z_2 = R \left(1 - \frac{\sin \alpha}{0,01745 \alpha} \right) \quad (44)$$

(вывод этого уравнения не представляет интереса)

$$z_3 = H - \frac{1}{2} l_3 \sin \alpha. \quad (45)$$

Уравнение для нахождения центра тяжести полки получает вид

$$z = \frac{l_2 z_2 + l_3 z_3}{l_c}. \quad (46)$$

Влиянием криволинейного треугольника, расположенного под стыком полок, пренебрегаем.

Для неравнобоких уголков расчет нужно проделать дважды, находя по отдельности центры тяжести каждой из полок,

$$z_a = \frac{l_{2a} z_{2a} + l_{3a} z_{3a}}{l_{ca}}; \quad (47)$$

$$z_\beta = \frac{l_{2\beta} z_{2\beta} + l_{3\beta} z_{3\beta}}{l_{c\beta}}, \quad (48)$$

после чего находится ордината центра тяжести всего калибра (шаблона)

$$z = \frac{l_{ca} z_a + l_{c\beta} z_\beta}{l_{ca} + l_{c\beta}}. \quad (49)$$

8. РАЗМЕЩЕНИЕ КАЛИБРОВ НА ВАЛКАХ

Размещение уголкового калибра на валках производится согласно общим правилам калибровки.

Калибры, имеющие закрытый верхний валок, с целью ослабления усилий, действующих на проводки, рекомендуется проектировать с небольшим верхним давлением (2—3 мм).

Ширина буртов между калибрами для чугунных валков принимается равной или несколько меньше их высоты. В тех случаях, когда ширина предыдущего по ходу прокатки калибра значительно больше последующего, необходимо проследить, чтобы задаваемая полоса имела ширину меньше размера A (рис. 23). Если это условие не соблюдается, то корректировка производится за счет выпуска калибра и увеличения размера e , который в обычном случае делается равным $R + (3 \div 4)$ мм. Размер s , рассчитывается из условия возможности сближения валков в положение «вал на вал», т. е.

$$s = t \operatorname{tg} \psi + (0,0 - 0,5) \text{ мм}, \quad (50)$$

где t — зазор.

Величина уклона буртов ($\operatorname{tg} \psi$) обычно выбирается в пределах 10—20%, т. е.

$$\operatorname{tg} \psi = 0,1 - 0,2.$$

При расточке валков для прокатки неравнобоких уголков необходимо считаться с тем, что при вертикальном подъеме верхнего валка толщина каждой из полок профиля будет изменяться по-разному (рис. 3, б). Чтобы толщина обеих полок при подъеме верхнего валка изменялась одинаково, последний должен иметь возможность перемещаться не вертикально, а по

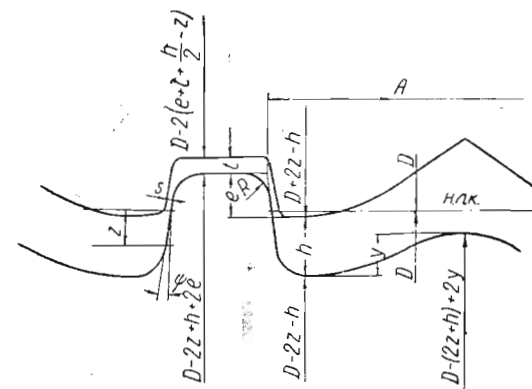


Рис. 23. Размещение уголкового калибра в валках.

биссектрисе. Такое перемещение верхнего валка можно обеспечить одним из следующих двух способов:

а) увеличением бокового зазора (s) со стороны короткой полки до необходимой величины осевого смещения (рис. 3, б)

$$\Delta x = \Delta y \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2}; \quad (51)$$

б) расточкой буртов с уклоном, не меньшим, чем наклон биссектрисы, т. е.

$$\operatorname{tg} \psi \geq \operatorname{tg} \frac{\beta - \alpha}{2}. \quad (52)$$

Последний метод лучше гарантирует от возможных ошибок и может быть рекомендован для применения на практике.

Размер y (рис. 23), имеющий важное значение при определении максимального диаметра нижнего валка для калибров открытых вниз (например пятая клетка на рис. 33), находится или графически, или путем расчетов по уравнениям:

$$y = H - \left(r + \frac{h}{2} \right) \left(\frac{\cos \frac{\beta - \alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} \right); \quad (53)$$

для равнобоких уголков¹

$$y = H - \left(r + \frac{h}{2} \right) \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right), \quad (54)$$

где r — радиус закругления в месте стыка полок.

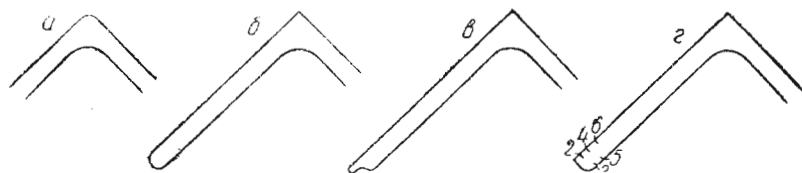


Рис. 24. Некоторые виды дефектов угловой стали (к табл. 1):
а — невыполнение угла при вершине профиля; б — неправильное выполнение концов полок; в — заусенец; г — закат.

Некоторые дополнительные замечания, относящиеся к врезу калибров в валки, даны ниже в примерах расчетов и пояснениях к рис. 27.

Дефекты профиля, образовавшиеся в результате неправильной калибровки и методы их устранения указаны в табл. 1 и на рис. 24.

Таблица 1

Дефекты профиля угловой стали, возникающие в результате неправильной калибровки, и методы их устранения

№ п.п.	Дефекты профиля	Методы устранения
1	Недостаточная ширина полок	а) Увеличить ширину полосы, задаваемой в первый профильный калибр (настройкой или углублением ребрового калибра); б) Определив по темплетам наиболее тесно заполняемые калибры, увеличить их ширину; в) Увеличить ширину всех калибров;

¹ Уравнения (53) и (54) точны лишь для калибров, в которых радиус нижней поверхности полок $\left(R + \frac{h}{2} \right)$ и радиус на стыке полок, не соприкасаются. Поэтому для первых (по ходу прокатки) одного-двух калибров лучше пользоваться не аналитическим, а графическим методом нахождения величины y .

№ п/п	Дефекты профиля	Методы устранения
		г) Уменьшить радиусы закруглений на концах полок (в таких пределах, чтобы не вызвать образования закатов); д) Сохраняя ширину калибров, перераспределить коэффициенты деформации таким образом, чтобы увеличить обжатия в последних (на ходу прокатки) калибрах, уменьшив их в первых профильных калибрах; е) Изменить положение арматуры; опустить вводной брус чистовой клетки
2	Чрезмерная ширина полок	Меры устранения противоположны предыдущему случаю
3	Невыполнение угла при вершине калибра (рис. 24, а)	а) Увеличить толщину заготовки, задаваемой в первый профильный калибр; б) Применить заготовку, имеющую утолщение по середине (рис. 16, а); в) Увеличить обжатие на участке вершины профиля в последних пропусках за счет увеличения радиусов закругления в первых профильных калибрах
4	Неправильное выполнение концов полок (рис. 24, б)	а) Увеличить обжатия в калибрах, открытых вверх, за счет уменьшения обжатий в калибрах, открытых вниз; б) Увеличить радиусы закруглений на концах полок в калибрах, открытых вверх; уменьшить те же радиусы в калибрах, открытых вниз
5	Заусенцы на концах полок (при использовании чистовых калибров со стесненным уширением) (рис. 24, в)	а) Уменьшить обжатие в чистовом калибре; б) Уменьшить ширину предчистового калибра; в) Применить чистовой калибр со свободным уширением
6	Закат (рис. 24, г)	По положению заката определяется калибр, в котором образуется заусенец. Для наиболее распространенного типа калибровки в развернутых закрытых калибрах со стесненным уширением и открытым чистовым калибром положение закатов показано на рис. 24, г. Здесь цифрами обозначены калибры против хода прокатки (считая от чистового), образующие закат на этом месте полки. Методы устранения заката: а) уменьшить обжатие в переполняемом калибре; б) уменьшить ширину полосы, поступающей в переполняемый калибр; в) увеличить радиус закругления на конце полки в калибре, предшествующем переполняемому.

Примечание. Дефекты профиля, устраняемые только настройкой (смещение вершины, разнотолщинность, периодичность размеров полок по ширине и др.), в таблице не рассматриваются.

В следующем параграфе приводятся примеры расчетов наиболее распространенных вариантов калибровки угловой стали.

9. ПРИМЕРЫ КАЛИБРОВОК

Пример расчета калибровки равнобокой угловой стали при прокатке в закрытых калибрах

Задание. Рассчитать профилировочные калибры для прокатки уголка $50 \times 50 \times (5-6)$ на стане 350. Схема расположения клетей и их характеристика приведены на рис. 25.

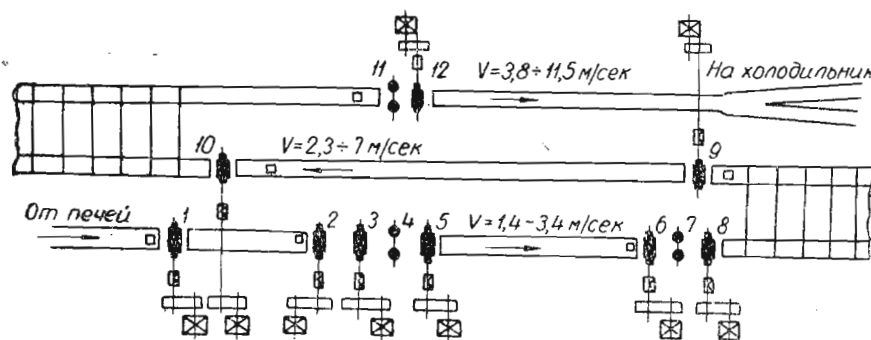


Рис. 25. Схема расположения и характеристика основного оборудования полу непрерывного стана 350:

№ клетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диаметр валков, мм	530	530	530	420	530	420	420	420	420	420	370	370
Число оборотов валков, об/мин	32-75	34-93	44-104	81-144	64-158	111-224	122-227	143-316	129-366	146-429	179-526	187-602
Мощность двигателя, квт	1000	1000	1000	800	1000	1000	800	1250	1250	1250	800	1250

Намечаем, исходя из расположения стана, получение уголка в пяти профильных калибрах (6, 8, 9, 10 и 12 клетки). Клетки 7 и 11 в прокатке не участвуют (возможность их использования рассматривается в следующем примере). Остальные клетки должны обеспечить получение заготовки с размерами, необходимыми для задачи в первый профильный калибр.

Скорость прокатки меняется от 1,5—3 м/сек в первых клетях стана до 3—8 м/сек в 6—8 клетях и до 8—11 м/сек в последних. Температура прокатываемых полос изменяется от 1150—1200° до 880—930°. Валки 6—12 клетей чугунные. При этих данных коэффициент трения можно принять примерно в пределах 0,27—0,38 (табл. 2, строка 1).

Определяем размеры готового профиля в горячем состоянии и параметры, связанные с разворачиванием полок (рис. 10, 13 и 14).

Таблица 2

Расчет калибровки угловой стали $50 \times 50 \times (5-6)$ для стана 350 (обозначения даны согласно рис. 13 и 14)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров				
		1 (12 кл.)	2 (10 кл.)	3 (9 кл.)	4 (8 кл.)	5 (6 кл.)
1	Коэффициент трения f	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38
2	Коэффициент деформации η	1,13	1,32	1,46	1,50	1,55
3	Толщина профиля ¹ $h' = h\eta$	5,5	6,2	8,2	12,0	18,0
4	Обжатие Δh	0,7	2,0	3,8	6,0	10,0
5	Высота калибра по средней линии ¹ $H' = H - \frac{H_1}{k_{заг} - h_1} \Delta h$	—	21,0	19,5	16,0	11,0
6	Тангенс угла раскрытия полок $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{C}$	1,000	0,9545	0,8864	0,7273	0,5000
7	Угол раскрытия полок α	45°00'	43°40'	41°33'	36°01'	26°40'
8	То же, в минутах и долях градуса	45,00°	43,67°	41,55°	36,01°	26,67°
9	Уширение на гладкой бочке (H — толщина задаваемой полосы) $\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$	0,6	2,3	4,0	5,0	—
10	Коэффициент, учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками K (рис. 15)	2,0	1,9	1,8	1,6	1,3
11	Суммарное свободное уширение средних линий полок $\Delta b_{с.л} = K \Delta b$	1,2	4,4	7,2	8,0	—
12	Степенное уширение $\Delta b_{ст} = (0,5 - 0,65) \Delta b_{с.л}$ (в чистовом калибре) $\Delta b_{ст} = \Delta b_{с.л}$	1,2	2,6	4,2	4,7	—
13	Длина средней линии полки ¹ $l'_c = l_c - 0,5 \Delta b_{ст}$ (в чистовом калибре) $l_c = l_{гор} - 0,5 h_1$	47,9	47,3	46,0	43,9	41,5
14	Проекция полки $B = l_c - C \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right) + R \left(2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745 \alpha^\circ \right)$	—	40,6	39,9	39,6	39,3
15	Радиус закругления при стыке полок ¹ $r' = r\eta + \Delta h$	6,0	7,5	12,0	22,0	40,0
16	Радиус для верхней поверхности полок $\left(R - \frac{1}{2} h \right)$	—	36,9	35,9	34,0	31,0
17	Радиус для нижней поверхности полок $\left(R + \frac{1}{2} h \right)$	—	43,1	44,1	46,0	49,0
18	Радиусы на концах полок (стр. 20)	3,0	4,0	2,0	6,0	6,0
19	Расстояние до нейтральной линии калибра (ордината центра тяжести) z : а) длина дуги $l_2 = 0,01745 R \alpha^\circ$	—	30,5	29,1	25,1	18,6

Табл. 2 (продолжение)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров				
		1 (12 кл.)	2 (10 кл.)	3 (9 кл.)	4 (8 кл.)	5 (6 кл.)
б)	ордината центра тяжести дуги $z_2 = R \left(1 - \frac{\sin \alpha}{0,01745 \alpha} \right) \dots$	—	3,7	3,4	2,6	1,4
в)	длина прямого отрезка $l_3 = l_c + C + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (B + l_2) \dots$	—	14,3	14,2	14,2	14,2
г)	ордината центра тяжести прямого отрезка $z_3 = H - \frac{1}{2} l_3 \sin \alpha \dots$	—	16,1	14,8	11,8	7,8
д)	ордината центра тяжести всего шаблона $z = \frac{l_2 z_2 + l_3 z_3}{l_c} \dots$	—	7,2	6,6	5,2	3,2

¹ В этом уравнении обозначения со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибра.

Размеры полок в горячем состоянии

$$l_{гор} = l_{хол} \cdot 1,013 = 50 \cdot 1,013 = 50,65 \text{ мм.}$$

Высота условного чистового калибра

$$H_1 = (0,4 - 0,45) l = (0,4 - 0,45) 50 = 22 \text{ мм.}$$

Радиус развертывания полок

$$R = (0,8 - 0,9) l = (0,8 - 0,9) 50 = 40 \text{ мм.}$$

Основание конструкционного треугольника

$$C = H_1 = 22 \text{ мм.}$$

Принимая общие калибры для толщин 5 и 6 мм, дальнейший расчет ведем на среднюю толщину полок 5,5 мм.

По графику рис. 8 находим, что минимально необходимый общий коэффициент деформации (предусматривая прокатку спокойных сталей) составляет примерно 4,7. Следовательно, при прокатке уголков толщиной 6 мм высота полосы, задаваемой в шестую клеть, должна быть не менее

$$h_{заг} = h_1 \eta_{общ} = 6 \cdot 4,7 = 28 \text{ мм.}$$

Рассчитанную высоту полосы в зависимости от того, удобно ли ее получение в оставшихся клетях стана, можно оставить без изменения или несколько увеличить. В последнем случае улуч-

шится выполнение угла профиля, но, вместе с тем, увеличится $\eta_{общ}$. В данном случае принимаем $h_{заг} = 28 \text{ мм}$. При неудовлетворительном выполнении угла недостаток может быть устранен выдачей из 5-ой клетки полосы с некоторым утолщением посередине.

Намечаем частные коэффициенты деформации по клетям с таким расчетом, чтобы их произведение равнялось общему коэффициенту деформации ($\eta_{общ}$), который при расчетной толщине готового профиля $h_1 = 5,5 \text{ мм}$ будет равен

$$\eta_{общ} = \frac{h_{заг}}{h_1} = \frac{28}{5,5} = 5,1$$

(табл. 2, строка 2).

Определяем толщину полосы и обжатие в каждом из калибров:

$$h_1 = 5,5 \text{ мм;}$$

$$h_2 = h_1 \eta_{11} = 5,5 \cdot 1,13 = 6,2 \text{ мм;}$$

$$h_3 = h_2 \eta_{12} = 6,2 \cdot 1,32 = 8,2 \text{ мм}$$

и т. д. (табл. 2, строка 3);

$$\Delta h_1 = h_2 - h_1 = 6,2 - 5,5 = 0,7 \text{ мм;}$$

$$\Delta h_2 = h_3 - h_2 = 8,2 - 6,2 = 2,0 \text{ мм}$$

и т. д. (табл. 2, строка 4).

Определяем высоту калибра по средней линии.

Высота условного чистового калибра была принята ранее (H_1):

для второго калибра

$$H' = H - \frac{H_1}{h_{заг} - h_1} \Delta h = 22 - \frac{22}{28 - 5,5} \cdot 0,7 \approx 21,0 \text{ мм;}$$

для третьего калибра

$$H' = H - \frac{H_1}{h_{заг} - h_1} \Delta h = 21 - \frac{22}{28 - 5,5} \cdot 2,0 \approx 19,5 \text{ мм}$$

и т. д. (табл. 2, строка 5).

По найденным значениям H и C рассчитывается угол раскрытия полок (табл. 2, строки 6—8).

Определение величин уширения на гладкой бочке, коэффициента K , суммарного свободного уширения средних линий полок и стесненного уширения (табл. 2, строки 9—12) видно из табл. 2. Следует отметить, что в чистовом калибре уширение фактически не стесненное и потому для первого калибра

полученная ранее величина $\Delta b_{с.л}$ сохраняется без изменений, (табл. 2, строка 12).

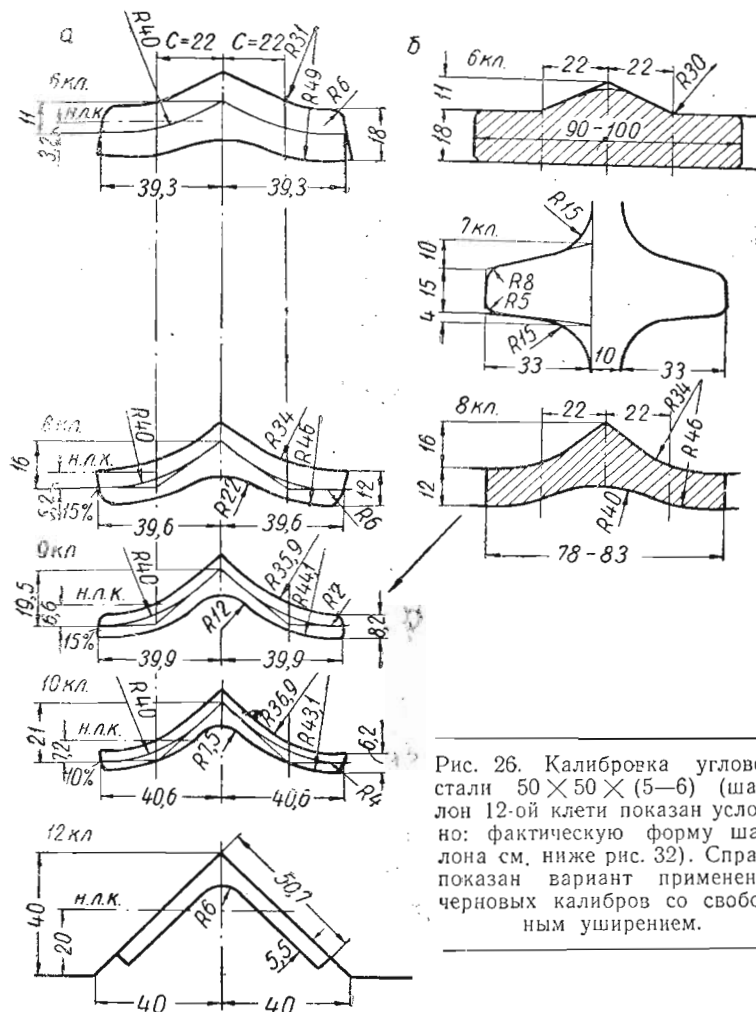


Рис. 26. Калибровка угловой стали $50 \times 50 \times (5-6)$ (шаблон 12-ой клетки показан условно: фактическую форму шаблона см. ниже рис. 32). Справа показан вариант применения черновых калибров со свободным уширением.

Определяем длину средней линии полки:
в чистовом калибре

$$l_c = l_{гор} - \frac{1}{2} h_1 = 50,65 - \frac{1}{2} 5,5 = 47,9 \text{ мм};$$

во втором калибре

$$l'_c = l_c - 0,5 \Delta b_{ст} = 47,9 - 0,5 \cdot 1,2 = 47,3 \text{ мм};$$

в третьем калибре

$$l'_c = l_c - 0,5 \Delta b_{ст} = 47,3 - 0,5 \cdot 2,6 = 46,0 \text{ мм}$$

и т. д. (табл. 2, строка 13).

Размеры проекций полок (табл. 2, строка 14) находятся по уравнению (18) или графически (см. стр. 17). Поскольку правильное определение размеров проекций полок является наиболее важным моментом для успешной работы калибровки целесообразно также сочетать графический и аналитический расчеты, которые при этом взаимно контролируют друг друга.

Расчет остальных величин дан в табл. 2 и в особых пояснениях не нуждается (рис. 26, а).

Положение центра тяжести готового профиля указано в ГОСТе. Положение центра тяжести остальных шаблонов определяется путем их балансирования (после изготовления) на острие ножа или расчетом, как показано в табл. 2 (строка 19 а, б, в, г, д).

Пример расчета калибровки угловой стали, включающей калибры со свободным уширением

Как указывалось ранее, расчет в этом случае ведется по обычной схеме.

Рассмотрим возможность использования уголковых калибров со свободным уширением на стане 350 для прокатки угловой стали $50 \times 50 \times (5-6)$ (условия предыдущего примера).

Изучение схемы стана и полученной в предыдущем примере калибровки уголка 50×50 в закрытых калибрах дает возможность наметить использование калибров со свободным уширением в 6 и 8-ой клетях. Ребровой калибр может быть врезан в 7-ю клеть, имеющую вертикальное расположение валков.

Одиннадцатая клеть, также имеющая вертикальные валки, не используется, поскольку проходящая через нее полоса слишком тонка и вместо обжатия ширины полок может получиться только их изгиб.

Следует отметить, что с точки зрения калибровки угловой стали расположение клетей на стане 350 не совсем удачное. Прокатка уголков проходила бы эффективнее, если бы вертикальные валки имела не 7, а 8 клеть.

Определение размеров калибров, предусматривающих свободное уширение, затруднений обычно не представляет (рис. 26, б). В целях сохранения закономерности в изменениях размеров сначала всю калибровку надо рассчитать для закрытых калибров, а затем закрытые калибры переконструировать в открытые. Сравнение правой и левой частей рис. 26 поясняет сказанное.

Обжатие в ребровом калибре выбирается по тем же правилам, что и для полосовой стали. Особое внимание должно

уделяться предупреждению изгиба полок. С этой целью, а также для упрощения расточки валков, калибр 6-ой клетки не имеет снизу выпуклости. Калибр 8-ой клетки, учитывая изменения

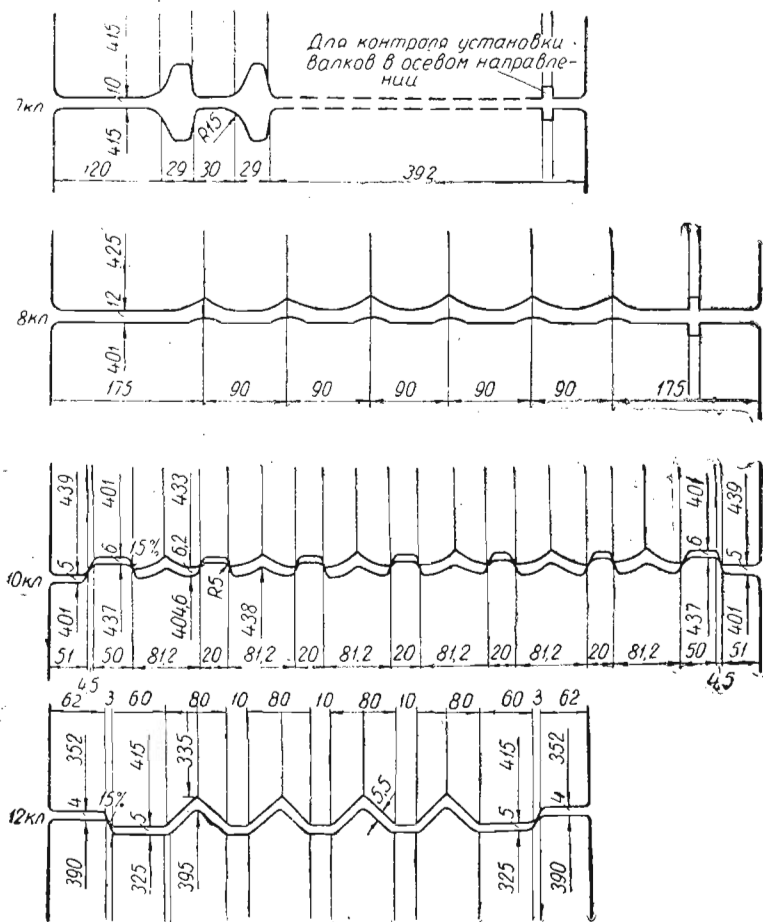


Рис. 27. Примеры размещения калибров для прокатки угловой стали $50 \times 50 \times (5-6)$ в валках стана 350.

формы калибра 6-ой клетки, сделан с меньшей выпуклостью, чем соответствующий закрытый калибр на рис. 26, а.

Калибры 9, 10 и 12 клеток оставлены без изменений.

Можно использовать по этой схеме закрытый калибр также и в 8-ой клетки. В этом случае настройка стана будет протекать более спокойно, но преимущества открытых калибров будут использованы в меньшей степени.

Расчет размеров валков стана 350 (рис. 27), в которых размещаются рассчитанные калибры, производится в соответствии с рис. 23.

Ширину чистового калибра желательно иметь равной или немного меньше ширины предчистового калибра (81,2 мм). Принимаем ширину чистового калибра, равной 80 мм. Остальные размеры, относящиеся к этому калибру, находятся из простейших геометрических соотношений. Диаметры отдельных участков валков находим по общим правилам исходя из межцентрового расстояния валков — 375 мм.

Диаметр верхнего валка по буртам (см. рис. 26 и 27)

$$375 + 2 \cdot 20 = 415 \text{ мм.}$$

Диаметр нижнего валка под буртами верхнего валка

$$2 \cdot 375 - 415 - 2 \cdot 5 = 325 \text{ мм.}$$

Диаметр верхнего валка над углом профиля (обычно этот размер на чертеже не показывается)

$$415 - 2 \cdot 40 = 335 \text{ мм.}$$

Диаметр нижнего валка под углом профиля

$$2 \cdot 375 - 335 - 2(1,41 \cdot 5,5 + 0,41 \cdot 6) \approx 395 \text{ мм.}$$

Диаметры крайних буртов приняты из расчета образования достаточных замков. В то же время они не должны быть больше максимальных диаметров на участке калибров.

Для 10-ой клетки число калибров, размещаемых на валках, принято из условий достаточной прочности средних буртов и достаточной величины крайних буртов для размещения арматуры.

Диаметры отдельных участков валков этой клетки находим в соответствии с данными рис. 23, исходя из межцентрового расстояния (начального диаметра) 425 мм:

диаметр верхнего валка по концам полок

$$D + 2z - h = 425 + 2 \cdot 7,2 - 6,2 \approx 433 \text{ мм;}$$

диаметр нижнего валка по концам полок

$$D - 2z - h = 425 - 2 \cdot 7,2 - 6,2 \approx 404,6 \text{ мм.}$$

Для определения диаметра нижнего валка под стыком полок предварительно графически или по формуле (54), находим размер y (рис. 23)

$$y = H - \left(r + \frac{h}{2}\right) \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1\right) =$$

$$= 21 - (7,5 + 3,1) \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 43^\circ 40'} - 1\right) = 17 \text{ мм.}$$

Тогда

$$D - (2z + h) + 2y = 425 - (2 \cdot 7,2 + 6,2) + 2 \cdot 17 = 438 \text{ мм.}$$

Для определения диаметра средних буртов нижнего вала задаемся радиусом скругления буртов $R=6 \text{ мм}$ и размером e , равным 10 мм , тогда

$$D - 2z + h + 2e = 425 - 2 \cdot 7,2 + 6,2 + 2 \cdot 10 = 437 \text{ мм.}$$

В тех случаях, когда этот размер получается меньше диаметра под стыком полок, его можно увеличить до величины последнего, что позволит без дополнительных вальцетокарных работ улучшить заход полосы и ее центрирование в калибре.

Диаметр проточки в верхнем валке, находящейся против бурта нижнего вала,

$$D - 2\left(e + t + \frac{h}{2} - z\right) = 425 - 2\left(10 + 6 + \frac{6,2}{2} - 7,2\right) = 401 \text{ мм.}$$

Диаметр крайних буртов верхнего вала принимается равным или на 2—4 мм больше максимального диаметра этого вала на участке калибров (433 мм). Это способствует уменьшению возможности разрушения острых кромок при укладывании вала на металлический пол или стеллаж (для валков, образующих калибры, открытые вниз, разрушения кромок не наблюдается).

Максимальный диаметр крайних буртов нижнего вала, во избежание лишнего съема по диаметру при расточке, не должен превышать максимальных диаметров этого вала, требующихся для образования калибров.

Ширина буртов между калибрами выбирается из условий прочности и размещения возможно большего числа калибров. Для чугунных валков ширину средних буртов желательно иметь не меньше глубины прилегающей к бурту части ручья. Ширина крайних буртов выбирается из условий размещения арматуры.

Размещение калибров в валках 9 клетки (на рис. 27 не показано) производится по аналогичным правилам. В этой клетке закрытая часть калибра врезана в верхний валок.

Размещение калибров в валках 7 и 8-ой клеток пояснений не требует.

Пример расчета калибровки неравнобокой угловой стали при прокатке в закрытых калибрах

За д а н и е. Рассчитать профилировочные калибры для прокатки угловой стали $125 \times 80 \times (7 \div 8)$ на крупносортом стане 500. Схема расположения клеток и их характеристика приведены на рис. 28.

Принимаем, исходя из наличия клеток на стане, прокатку в шести профильных калибрах. Три первые клетки будут исполь-

зованы для получения полосы с размерами, необходимыми для задачи в первый профильный калибр.

Определяем размеры профиля в горячем состоянии и параметры, связанные с развертыванием полок (рис. 10, 13 и 14),

$$h_1 = \frac{7+8}{2} = 7,5 \text{ мм;}$$

$$l_{гор} = 1,013 l_{хол};$$

$$l_{агор} = 1,013 l_a = 1,013 \cdot 125 = 126,6 \text{ мм;}$$

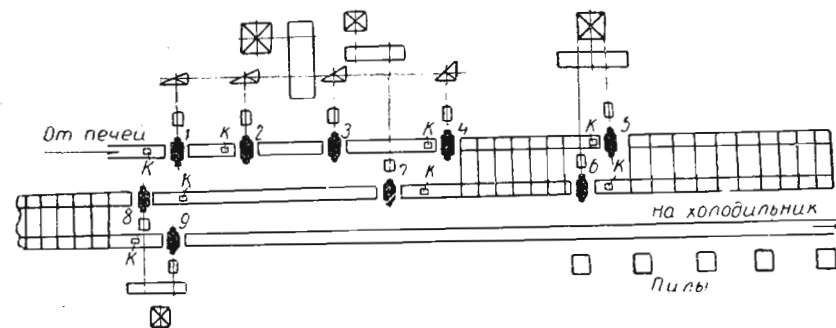


Рис. 28. Схема расположения и характеристика основного оборудования крупносортового стана 500:

№ клетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр валков, мм	630	630	630	630	540	540	540	540	540
Число оборотов валков, об/мин	28,4	35,9	49,5	63,7	53,4	68,5	96—172	102—204	115—230
Мощность двигателя, квт . .	2200				1068	1850	1100	1850	

$$l_{гор} = 1,013 l_3 = 1,013 \cdot 80 = 81,0 \text{ мм;}$$

$$H_1 = (0,4 - 0,45) \frac{l_a + l_3}{2} = (0,4 - 0,45) \frac{125 + 80}{2} \approx 45 \text{ мм.}$$

$$R_a = (1,0 - 1,1) l_a = (1,0 - 1,1) 125 = 130 \text{ мм;}$$

$$R_3 = (0,7 - 0,8) l_3 = (0,7 - 0,8) 80 = 60 \text{ мм;}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{l_3}{l_a} = \frac{80}{125} = 0,640;$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{125}{80} = 1,5625;$$

$$C_a = \frac{H_1}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{45}{0,640} = 70,31 \text{ мм} = \text{const};$$

$$C_\beta = \frac{H_1}{\operatorname{tg} \beta_1} = \frac{45}{1,5625} = 28,8 \text{ мм} = \text{const.}$$

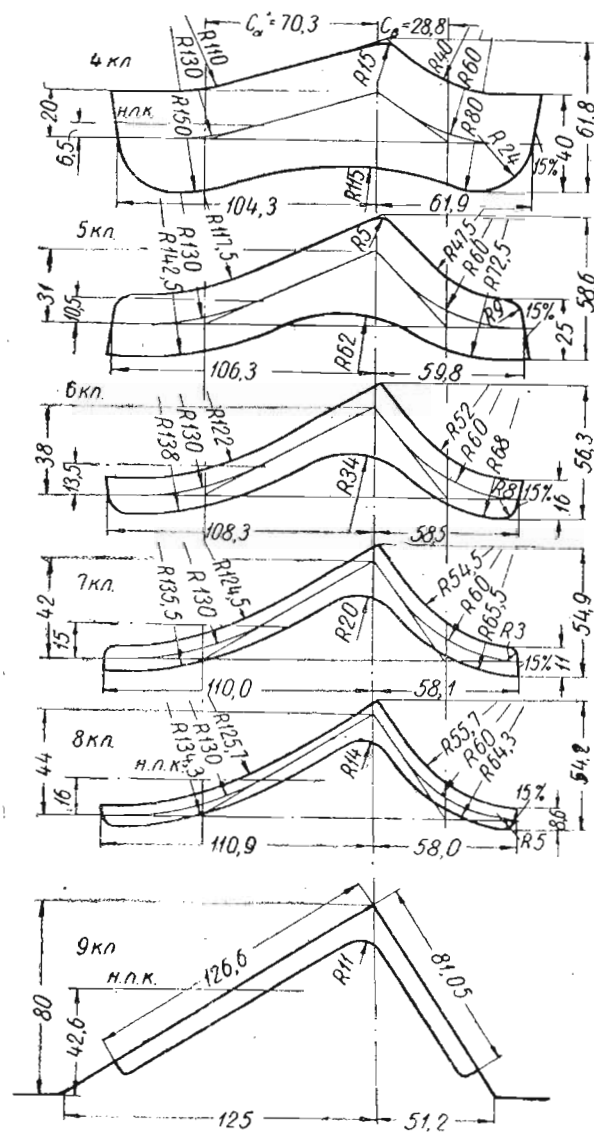


Рис. 29. Калибровка угловой стали 125×80×(7—8).

Принимая прокатку полос толщиной 7 и 8 мм в общих калибрах, расчет ведем по средней толщине — 7,5 мм.

Наличие большого числа профильных калибров дает возможность выбрать общий коэффициент деформации и толщину заготовки несколько большие, чем они получаются по графику рис. 8.

Принимаем $h_{\text{заг}} = 65$ мм (при выборе толщины заготовки, задаваемой в первый профильный калибр, необходимо учитывать также возможность ее получения в оставшихся клетях из исходного бруса или заготовки).

Коэффициент трения принимаем исходя из наличия стальных валков в 1—4 клетях и чугунных валков в остальных клетях. Расчет всех остальных величин дан в табл. 3. Методика расчета здесь аналогична методике расчета в предыдущем примере.

Размеры калибров показаны на рис. 29.

Таблица 3

Расчет калибровки угловой стали 125×80×(7—8) для стана 500 (обозначения даны согласно рис. 13 и 14)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров					
		1 (9 кл.)	2 (8 кл.)	3 (7 кл.)	4 (6 кл.)	5 (5 кл.)	6 (4 кл.)
1	Коэффициент трения f	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,45
2	Коэффициент деформации η	1,15	1,30	1,45	1,55	1,60	1,60
3	Толщина профиля ¹ $h' = h \eta$	7,5	8,6	11,0	16,0	25,0	40,0
4	Обжатие Δh	1,1	2,4	5,0	9,0	15,0	25,0
5	Высота калибра ¹						
	$H' = H - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_1} \Delta h$	45,0	44,0	42,0	38,0	31,0	20,0
6	Тангенс угла раскрытия большой полки						
	$\text{tg } \alpha = \frac{H}{C_a}$	0,640	0,6258	0,5973	0,5404	0,4409	0,2844
7	Угол раскрытия большой полки α	32°37'	32°02'	30°51'	28°23'	23°48'	15°53'
8	То же, в минутах и долях градуса	32,62°	32,03°	30,85°	28,38°	23,80°	15,88°
9	Тангенс угла раскрытия малой полки						
	$\text{tg } \beta = \frac{H}{C_b}$	1,562	1,528	1,458	1,319	1,076	0,6944
10	Угол раскрытия малой полки β	57°23'	56°48'	55°34'	52°51'	47°06'	34°47'
11	То же, в минутах и долях градуса	57,38°	56,80°	55,57°	52,85°	47,10°	34,78°
12	Уширение на гладкой бочке Δb (H — толщина задаваемой полосы)						
	$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$	1,1	2,7	5,2	7,5	9,2	12,8

Табл. 3 (продолжение)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров					
		1 (9 кл.)	2 (8 кл.)	3 (7 кл.)	4 (6 кл.)	5 (5 кл.)	6 (4 кл.)
13	Коэффициент, учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками K (см. рис. 15)	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,3
14	Суммарное свободное уширение средних линий полок $\Delta b_{с.л} = K \Delta b$	2,2	5,2	9,4	12,7	14,7	16,6
15	Стесненное уширение $\Delta b_{ст} = (0,5 - 0,65) \Delta b_{с.л}$ (в чистовом калибре $\Delta b_{ст} = \Delta b_{с.л}$)	2,2	3,0	5,4	7,3	8,5	9,6
16	Уширение большой полки $\Delta b_{\alpha} = \frac{l_{\alpha}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \Delta b_{ст}$	1,3	1,8	3,3	4,5	5,2	5,8
17	Уширение малой полки $\Delta b_{\beta} = \frac{l_{\beta}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \Delta b_{ст}$	0,9	1,2	2,1	2,8	3,3	3,8
18	Длина средней линии большой полки ¹ $l'_{с\alpha} = l_{с\alpha} - \Delta b_{\alpha}$ (в чистовом калибре $l_{с\alpha} = l_{гор} - 0,5h_1$)	122,9	121,6	119,8	116,5	112,0	106,8
19	Длина средней линии малой полки ¹ $l'_{с\beta} = l_{с\beta} - \Delta b_{\beta}$ (в чистовом калибре $l_{с\beta} = l_{гор} - 0,5h_1$)	77,3	76,4	75,2	73,1	70,3	67,0
20	Проекция большой полки $B_{\alpha} = l_{с\alpha} - C_{\alpha} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1) + R_{\alpha} \left(2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745 \alpha^{\circ} \right)$	—	110,9	110,0	108,3	106,3	104,3
21	Проекция малой полки $B_{\beta} = l_{с\beta} - C_{\beta} (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta} - 1) + R_{\beta} \left(2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - 0,01745 \beta^{\circ} \right)$	—	58,0	58,1	58,5	59,8	61,9
22	Радиусы закругления при стыке полок ¹ $r' = r \eta + \Delta h$	11,0	14,0	20,0	34,0	62,0	115,0
23	Радиусы на концах полок	3,7	5,0	3,0	8,0	9,0	24,0
24	Радиус для верхней поверхности широкой полки $\left(R_{\alpha} - \frac{1}{2} h \right)$	—	125,7	124,5	122,0	117,5	110,0

Табл. 3 (продолжение)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров					
		1 (9 кл.)	2 (8 кл.)	3 (7 кл.)	4 (6 кл.)	5 (5 кл.)	6 (4 кл.)
25	Радиус для нижней поверхности широкой полки $\left(R_{\alpha} + \frac{1}{2} h \right)$	—	134,3	135,5	138,0	142,5	150,0
26	Радиус для верхней поверхности узкой полки $\left(R_{\beta} - \frac{1}{2} h \right)$	—	55,7	54,5	52,0	47,5	40,0
27	Радиус для нижней поверхности узкой полки $\left(R_{\beta} + \frac{1}{2} h \right)$	—	64,3	65,5	68,0	72,5	80,0
28	Расстояние до нейтральной линии калибра z Широкая полка: а) длина дуги $l_2 = 0,01745 R_{\alpha} \alpha^{\circ}$ б) ордината центра тяжести дуги $z_2 = R_{\alpha} \left(1 - \frac{\sin \alpha}{0,01745 \alpha^{\circ}} \right)$ в) длина прямого отрезка $l_3 = l_{с\alpha} + C_{\alpha} + R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (R_{\alpha} + l_2)$ г) ордината центра тяжести прямого отрезка $z_3 = H - \frac{1}{2} l_3 \sin \alpha$ д) ордината центра тяжести широкой полки $z_{\alpha} = \frac{l_2 z_2 + l_3 z_3}{l_{с\alpha}}$	—	72,7	70,0	64,4	54,0	36,0
	Узкая полка: а) длина дуги $l_2 = 0,01745 R_{\beta} \beta^{\circ}$ б) ордината центра тяжести дуги $z_2 = R_{\beta} \left(1 - \frac{\sin \beta}{0,01745 \beta^{\circ}} \right)$ в) длина прямого отрезка $l_3 = l_{с\beta} + C_{\beta} + R_{\beta} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - (B_{\beta} + l_2)$ г) ордината центра тяжести прямого отрезка $z_3 = H - \frac{1}{2} l_3 \sin \beta$	—	59,5	58,2	55,3	49,3	36,4
		—	9,3	9,0	8,1	6,5	3,6
		—	20,2	19,3	17,9	16,1	16,3
		—	35,6	34,0	31,0	25,1	15,4

Табл. 3 (продолжение)

М. п. п.	Определяемые величины	№ калибров					
		1 (9 кл.)	2 (8 кл.)	3 (7 кл.)	4 (6 кл.)	5 (5 кл.)	6 (4 кл.)
	д) ордината центра тяжести узкой полки						
	$z_{\beta} = \frac{l_{\alpha} z_{\alpha} + l_{\beta} z_{\beta}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \dots$	—	16,5	15,5	13,5	10,1	5,5
	Ордината центра тяжести шаблона						
	$z = \frac{l_{\alpha} z_{\alpha} + l_{\beta} z_{\beta}}{l_{\alpha} + l_{\beta}} \dots$	—	16,0	15,0	13,5	10,5	6,5

1 Обозначения со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибру.

Расчет размеров валков (рис. 30) в основном аналогичен расчету в предыдущем примере.

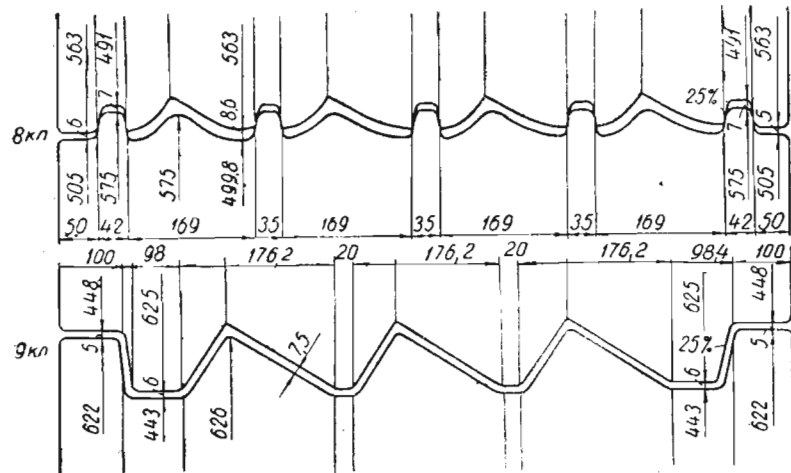


Таблица 4

Расчет калибровки угловой стали 125×125×(8—9—10) для стана 500
(обозначения даны согласно рис. 13 и 14)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров					
		1 (9 кл.)	2 (8 кл.)	3 (7 кл.)	4 (6 кл.)	5 (5 кл.)	6 (4 кл.)
1	Коэффициент трения f . . .	0,30	0,32	0,34	0,40	0,42	0,45
2	Коэффициент деформации η . . .	1,15	1,25	1,40	1,55	1,60	1,75
3	Толщина профиля ¹ $h' = h \eta$. . .	9,0	10,5	13,0	18,0	28,0	45,0
4	Обжатие Δh	1,5	2,5	5,0	10,0	17,0	35,0
5	Высота калибра ¹						
	$H' = H - \frac{H_1}{h_{\text{заг}} - h_1} \Delta h$. . .	—	54,0	52,0	48,0	40,0	27,0
6	Тангенс угла раскрытия полок	1,000	0,982	0,945	0,873	0,728	0,492
7	Угол раскрытия полок α $\text{tg} \alpha = \frac{H}{C}$	45°00'	44°30'	43°25'	41°10'	36°05'	26°10'
8	То же, в минутах и долях гра- дуса	45,00°	44,50°	43,42°	41,17°	36,08°	26,17°
9	Уширение на гладкой бочке (H —толщина задаваемого про- филя)						
	$\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{2H} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$	1,5	2,4	4,6	7,7	9,6	14,5
10	Коэффициент, учитывающий уве- личение уширения вследствие наличия угла между полками K (см. рис. 15)	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4
11	Суммарное свободное уширение средних линий полок $\Delta b_{\text{с.л.}} =$ $= K \Delta b$	3,0	4,6	8,3	13,0	15,4	20,4
12	Стесненное уширение $\Delta b_{\text{ст}} =$ $= (0,5 - 0,65) \Delta b_{\text{с.л.}}$ (в чисто- вом калибре $\Delta b_{\text{ст}} = \Delta b_{\text{с.л.}}$. . .	3,0	2,6	4,8	7,5	9,0	12,0
13	Длина средней линии полки ¹ $l'_c = l_c - 0,5 \Delta b_{\text{ст}}$ (в чистовом калибре $l_c = l_{\text{гор}} - 0,5 h_1$) . . .	122,1	120,6	119,3	116,9	113,1	108,6
14	Проекция полки $B = l_c - C \left(\sqrt{1 + \text{tg}^2 \alpha} - 1 \right) +$ $+ R \left(2 \text{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745 \alpha^\circ \right)$. . .	—	103,2	102,8	102,4	102,0	103,0
15	Радиус закругления при стыке полок ¹ $r' = r \eta + \Delta h$	14,0	18,0	25,0	40,0	70,0	130,0
16	Радиусы на концах полок	4,6	6,0	3,0	8,0	10,0	27,0
17	Общая высота шаблона $H_{\text{ш}} = H + \frac{h}{2} \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha} \right)$. . .	65,9	66,6	67,5	69,0	71,4	74,7

¹ В этом уравнении обозначения со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибру.

получения которой необходима заготовка с размерами примерно 150×225 мм.

Применение диагональной калибровки позволяет обеспечить заполнение калибров, используя из 1-ой клетки сечение примерно 152×152 мм (исходная заготовка 150×160 мм).

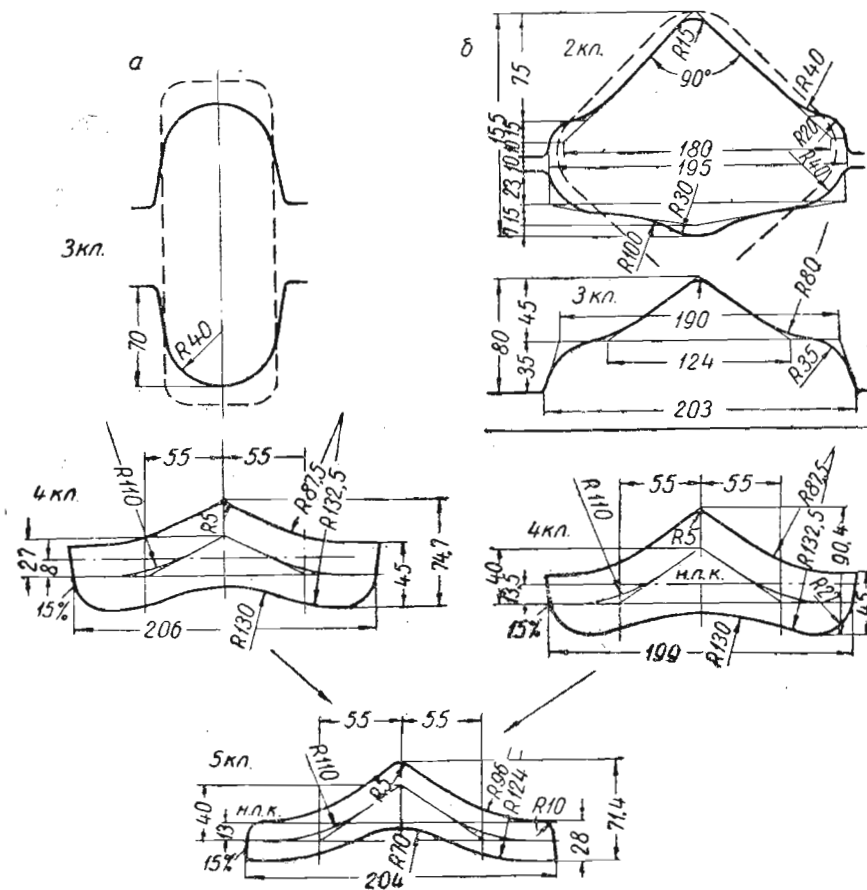


Рис. 31. Калибры черновой группы клеток стана 500 для прокатки угловой стали 125×125×(8—10):

а — обычный метод прокатки; б — диагональная калибровка.

Реконструкцию калибров 2, 3 и 4-ой клеток, необходимую для превращения обычной калибровки в диагональную (рис. 31, б), производим на основании следующих соображений:

1. Угол раскрытия полок калибров 3 и 4-ой клеток в целях улучшения устойчивости полосы при прокатке принимаем равным углу раскрытия полок 5 клетки. Для этого на 4 клетки размер

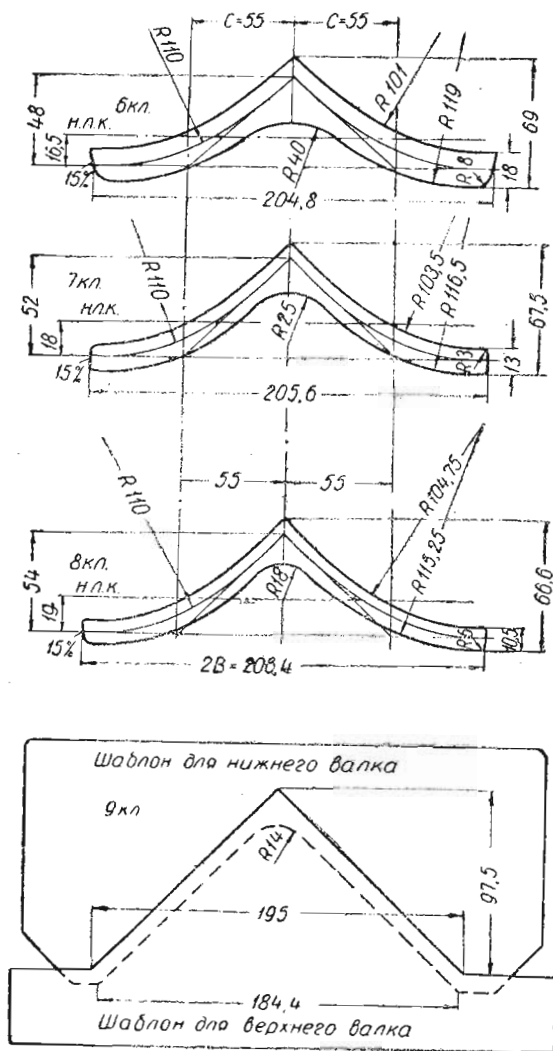


Рис. 32. Калибры чистовой группы клетей ста-
на 500 для прокатки угловой стали $125 \times 125 \times$
 $\times (8-10)$ (калибры черновой группы см. на
рис. 31).

27 увеличиваем до 40 мм (делаем равным соответствующему размеру 5 клетки).

2. В связи с изменением высоты калибра 4 клетки делаем пересчет (аналитически или графически) ширины калибра (соответственно получаем размер 199 вместо 206 мм), а также его общей высоты и положения нейтральной линии.

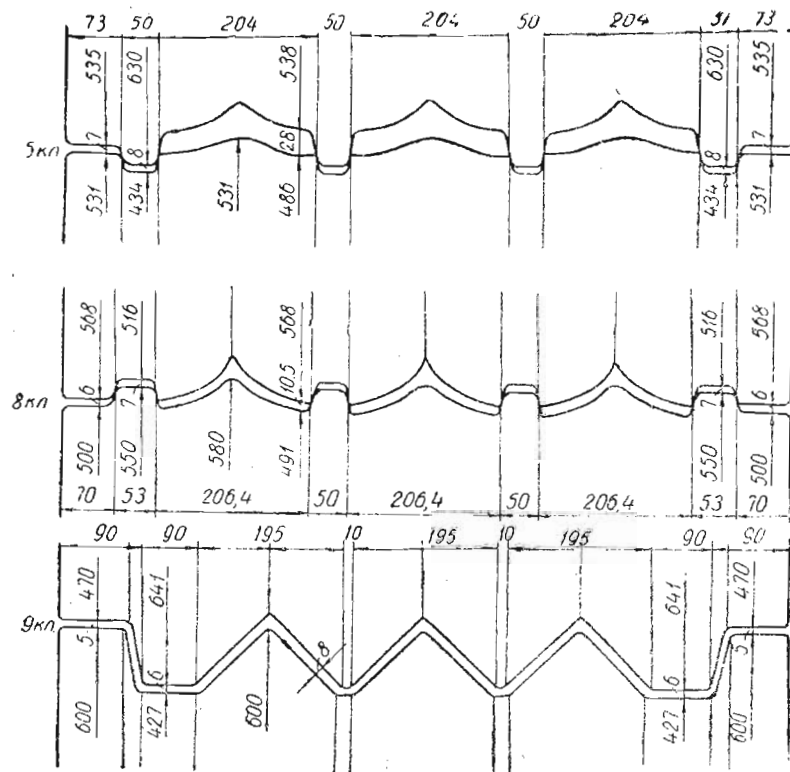


Рис. 33. Примеры размещения калибров угловой стали $125 \times 125 \times (8-10)$ в валках стана 500.

3. Для предотвращения сваливания полосы длину прямых участков полок, примыкающих к вершине в калибрах 2 и 3-ей клетей, необходимо делать как можно больше. С этой целью радиусы, образующие верхнюю поверхность полок для калибров этих клетей, уменьшают.

4. Общая высота калибров второй и третьей клеток назначается из условий надежного захвата полосы.

5. Калибр 2 клетки может иметь форму, принятую на рис. 31, или же иметь форму ромба (рис. 1, *д*). В калибровке принят первый вариант, обеспечивающий лучшую устойчивость задаваемой полосы.

Примеры размещения некоторых калибров в валках показаны на рис. 33. Расчеты, связанные с расточкой калибров, аналогичны приведенным выше.

Пример расчета калибровки тонкостенной угловой стали

Задание. Рассчитать профилировочные калибры для прокатки тонкостенного уголка $45 \times 45 \times 3$ на стане 300. Схема расположения клетей на стане и их характеристика приведены на рис. 34.

Существующая общая схема прокатки на стане предусматривает использование для всех профилей гладкой бочки на 3

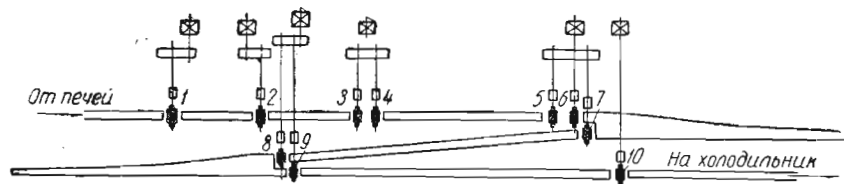


Рис. 34. Схема расположения и характеристика основного оборудования стана 300:

№ клетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр валков, мм	420	420	420	420	385	390	405	340	365	340
Число оборотов валков, в/мин	48—96	56—112	64—129	78—156	98—196	131—262	149—298	300—600	300—600	350—720
Мощность двигателя, кет	1100	1100	1100			1840		1100	1100	1620

и 4-ой клетях и ребровых калибров на 5—6-ой клетях. Намечаем прокатку заданного уголка в четырех профильных калибрах (7, 8, 9, 10-ой клетки), чтобы в первых шести клетях, сохраняя имеющуюся там универсальную калибровку, получить полосу, необходимую для задачи в первый профильный калибр.

Скорость прокатки меняется от 4—5 м/сек в седьмой клетке до 8—11 м/сек в десятой клетке. Соответственно температура прокатки изменяется от 1000 до 930°. Коэффициент трения при этих данных может быть принят 0,25—0,28 (табл. 5, строка 1).

Определяем размеры готового профиля в горячем состоянии и параметры, связанные с разворачиванием полок: размеры полок в горячем состоянии

$$l_{гор} = 1,012 l_{хол} = 1,012 \cdot 45 = 45,55 \text{ мм};$$

высота условного чистового калибра

$$H_1 = (0,4 - 0,45) l = (0,4 - 0,45) 45 = 20 \text{ мм};$$

радиус разворачивания полок

$$R = (0,8 - 0,9) l = (0,8 - 0,9) 45 = 40 \text{ мм};$$

Таблица 5

Расчет калибровки угловой стали $45 \times 45 \times 3$ для стана 300 (обозначения даны согласно рис. 13 и 14)

№ п.п.	Определяемые величины	№ калибров			
		1 (10 кл.)	2 (9 кл.)	3 (8 кл.)	4 (7 кл.)
1	Коэффициент трения f	0,25	0,26	0,27	0,28
2	Коэффициент деформации η	1,20	1,36	1,53	1,60
3	Толщина полосы ¹ $h' = h \eta$	3,0	3,6	4,9	7,5
4	Обжатие Δh	0,6	1,3	2,6	4,5
5	Высота калибра по средней линии ¹ $H' = H - \frac{H_1}{h_{заг} - h_1} \Delta h$	—	18,5	15,6	10,0
6	Тангенс угла раскрытия полок $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{C}$	1,000	0,925	0,780	0,500
7	Угол раскрытия полок α	45°00'	42°45'	37°57'	26°35'
8	То же, в минутах и долях градуса	45,00°	42,75°	37,95°	26,60°
9	Уширение на гладкой бочке (H — толщина задаваемого профиля) $\Delta b = 1,15 \frac{\Delta h}{H} \left(\sqrt{R \Delta h} - \frac{\Delta h}{2f} \right)$	0,9	2,0	3,4	4,8
10	Коэффициент, учитывающий увеличение уширения вследствие наличия угла между полками K (рис. 15)	2,0	1,9	1,7	1,4
11	Суммарное свободное уширение средних линий полок $\Delta b_{с.л} = K \Delta b$	1,8	3,8	5,8	6,7
12	Стесненное уширение $\Delta b_{ст} = (0,5 - 0,65) \Delta b_{с.л}$ (в чистовом калибре $\Delta b_{ст} = \Delta b_{с.л}$)	1,8	2,2	3,3	3,8
13	Длина средней линии полки: а) в чистовом калибре $l_c = l_{гор} - \frac{1}{2} h_1$ б) в остальных калибрах ¹ $l'_c = l_c - \frac{1}{2} \Delta b_{ст}$	44,05	—	—	—
14	Проекция полки $B = l_c - C \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - 1 \right) + R \left(2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - 0,01745 \alpha^\circ \right)$	—	37,5	37,8	38,5
15	Радиус закругления при стыке полок ¹ $r' = r \eta + \Delta h$	5,0	7,0	11,0	20,0
16	Радиус для верхней поверхности полок $\left(R - \frac{1}{2} h \right)$	—	38,2	37,55	36,25
17	Радиус для нижней поверхности полок $\left(R + \frac{1}{2} h \right)$	—	41,8	42,45	43,75
18	Радиусы на концах полок	1,7	2,3	1,3	3,9

¹ В этом уравнении обозначения со штрихом относятся к искомому, а без штриха — к предыдущему по ходу расчета калибра.

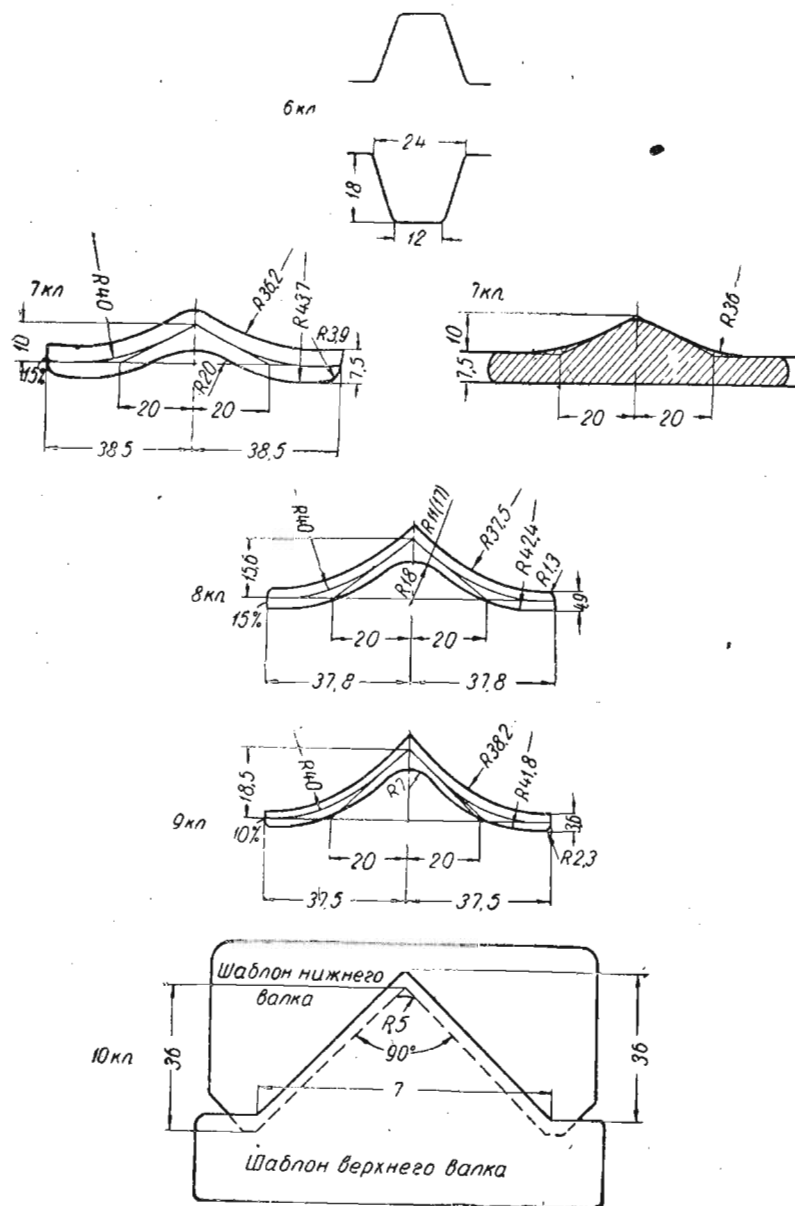


Рис. 35. Калибровка угловой стали $45 \times 45 \times 3$ (калибр седьмой клетки показан в двух вариантах).

основание конструкционного треугольника

$$C = H_1 = 20 \text{ мм.}$$

По графику рис. 8 находим, что минимально необходимый общий коэффициент деформации ($\gamma_{\text{общ}}$) должен быть около 4,0. Следовательно, толщина исходной полосы, задаваемой в 7 клеток, должна быть не менее 12 мм, что и принимаем для дальнейших расчетов.

Намечаем частные коэффициенты деформации исходя из того, что их произведение должно составлять $\gamma_{\text{общ}}$ (табл. 5, строка 2).

Определяем толщину полосы в каждом из калибров, а также обжатия и высоты калибров по средним линиям (табл. 5, строки 3, 4 и 5).

Дальнейший расчет размеров калибров ведется аналогично предыдущим примерам (стр. 32—40).

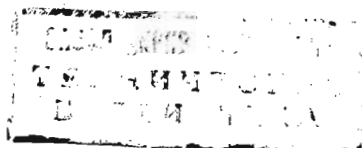
Для упрощения калибровки и придания ей большей универсальности калибр 7 клетки может быть выполнен со свободным уширением (такое преобразование можно было бы сделать и с калибром 8 клетки, но настройка стана в этом случае сильно затруднится). Форма калибра со свободным уширением, как указывалось выше, строится на основе рассчитанного обычного калибра. В калибре со свободным уширением радиус закругления при стыке полок, в целях увеличения устойчивости прокатываемой полосы, увеличен до бесконечности (т. е. дно калибра сделано плоским). С той же целью, а также для постепенности изменения размеров, радиус у калибра 8 клетки желательно с 11 мм увеличить до 16—18 мм. В остальном калибр 8 клетки, так же как и калибры 9 и 10-ой клеток, сохраняется без изменений.

Общий вид калибровки с двумя вариантами калибров для 7 клетки показан на рис. 35*. Размещение калибров в валках не приводим. Оно производится по тем же правилам, что и в приведенных выше примерах.

* Калибровка в процессе опробования работала хорошо. Однако в дальнейшем, после получения нескольких сотен тонн готовой продукции, прокатка уголка $45 \times 45 \times 3$ была прекращена вследствие неудовлетворительной работы текстолитовых подшипников на этом профиле (загорание вследствие перегрузки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Мец, Горячая прокатка и калибровка валков, ОНТИ, 1937.
2. Д. И. Старченко, Развернутая калибровка фасонных профилей, Металлургиздат, 1952.
3. Б. П. Бахтинов и М. М. Штернов, Калибровка прокатных валков, Metallurgizdat, 1953.
4. И. М. Кочетов, Калибровка угловой стали, Сталь, 1951, № 11.
5. K. Beuport, Roll Design and Mill Layout.
6. U. Uasicek, Ualčovani dvou profilů současně dělením v potovném kalibru, Hutník, 1955, № 2.
7. А. П. Чекмарев, Р. А. Машковцев, Калибровка прокатных валков (учебное пособие кафедры ОМД Днепропетровского металлургического института), 1959.
8. Б. В. Мерекин, О калибровке угловой стали, Сб. «Обработка металлов давлением», вып. пятый, 1959.
9. Б. П. Бахтинов, Уточненный метод расчета калибровки угловой стали, Сталь, 1960, № 4.
10. М. М. Штернов К расчету калибров для угловой стали, Сталь, 1960, № 6.



54957

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Методы калибровки угловой стали	4
2. Частотный калибр	6
3. Системы развертывания полок	8
4. Общий и частные коэффициенты деформации	10
5. Расчет размеров развернутых уголкового калибров	11
6. Прокатка разных толщин одного номера угловой стали	26
7. Определение положения центра тяжести	27
8. Размещение калибров на валках	28
9. Примеры калибровок	32
Литература	56